

Ing. MARIUS MOISE

**CONTRIBUȚII LA OPTIMIZAREA TRANSFERULUI  
CONEXIUNII ÎNTR-O REȚEA DE TIP ATM MOBIL**

TEZĂ DE DOCTORAT

BIBLIOTECĂ  
volum 644.720  
nr. 369 lit. E

CONDUCĂTOR ȘTIINȚIFIC: Prof. Dr. Ing. TIBERIU MUREȘAN

TIMIȘOARA

2004

# Cuprins

## Lista de abrevieri

<b>1</b>	<b>Introducere</b>	<b>1</b>
1.1	<b>Evoluția rețelelor de telefonie mobilă</b>	<b>1</b>
1.2	<b>Mobility Management</b>	<b>5</b>
1.2.1	<i>Definiție</i>	<b>5</b>
1.2.2	<i>Componente</i>	<b>6</b>
1.3	<b>Rețele de bandă largă</b>	<b>9</b>
1.3.1	<i>Definiție, dezvoltare, tehnologie</i>	<b>9</b>
1.3.2	<i>Rețele cu mod de transfer asincron (ATM)</i>	<b>10</b>
1.3.3	<i>Cerințe actuale privitoare la sistemele mobile de bandă largă</i>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>Arhitecturi de rețele de tip ATM mobil</b>	<b>21</b>
2.1	<b>Sisteme mobile de bandă largă</b>	<b>21</b>
2.1.1	<i>Moduri de implementare</i>	<b>21</b>
2.1.2	<i>Cercetări actuale</i>	<b>22</b>
2.2	<b>Subsistemul radio și conceptul zonal</b>	<b>29</b>
2.2.1	<i>Interfața radio, protocol</i>	<b>30</b>
2.2.2	<i>Conceptul zonal</i>	<b>39</b>
2.3	<b>Subsistemul de rețea</b>	<b>40</b>
2.3.1	<i>Scenarii de referință și arhitecturi de rețea</i>	<b>40</b>
2.3.2	<i>Funcții ale rețelei de suport al mobilității</i>	<b>43</b>
2.3.3	<i>Protocole de transfer al apelului</i>	<b>47</b>

<b>2.4 Traficul de handover</b>	55
2.4.1 <i>Model analitic</i>	55
2.4.2 <i>Studiu numeric</i>	59
<b>2.5 Concluzii</b>	60
<b>3 Rerutare în rețele de tip ATM mobil</b>	63
<b>3.1 Planuri de comutație ATM</b>	63
3.1.1 <i>Stabilirea căii comutate în planul de comutație ATM</i>	63
3.1.2 <i>Căi virtuale în rețele ATM</i>	65
<b>3.2 Cerințe privitoare la rerutare</b>	67
<b>3.3 Clasificare a procedeeelor de rerutare</b>	68
3.3.1 <i>Rerutare în rețele WATM</i>	69
3.3.2 <i>Căutarea căii și a punctului de comutare optim</i>	71
3.3.3 <i>Categoriile de bază de rerutare pentru handover</i>	76
3.3.4 <i>Rerutare proactivă și reactivă</i>	84
3.3.5 <i>Comutarea căilor parțiale</i>	87
3.3.6 <i>Aspecte speciale ale rerutării</i>	89
<b>3.4 Procedeu nou și eficient de rerutare</b>	90
3.4.1 <i>Rerutare bazată pe VC sau VP</i>	91
3.4.2 <i>Concept de bază al unei arhitecturi de rețea WATM bazate pe VP</i>	93
3.4.3 <i>Histereza transfer în MNAVP, descriere și analiză</i>	96
3.4.4 <i>Privire de ansamblu și concluzii</i>	105
<b>3.5 Concepte alternative de rerutare</b>	108
3.5.1 <i>Concept ierarhic de rerutare</i>	109
3.5.2 <i>Dynamic Cross-Over Switch Discovery Rerouting</i>	110
3.5.3 <i>Rerutare bazată pe cel mai apropiat nod comun</i>	110

3.5.4	<i>Rerutare în WATM CS 1</i> .....	110
<b>3.6</b>	<b>Comparație a procedeeleor de rerutare</b> .....	<b>111</b>
3.6.1	<i>Criterii și parametri de evaluare</i> .....	111
3.6.2	<i>Comparație directă a procedeeleor de rerutare</i> .....	115
3.6.3	<i>Contribuția procedeeleor de rerutare la lanteța de transfer</i> .....	117
<b>3.7</b>	<b>Concluzii</b> .....	<b>123</b>
<b>4</b>	<b>Transfer fără pierderi în rețele de tip ATM mobil</b> .....	<b>125</b>
<b>4.1</b>	<b>Comutare, sincronizare, pierderi sau duplicări de celule</b> .....	<b>125</b>
<b>4.2</b>	<b>Estimarea frecvenței de pierdere a celulelor la transferul cu pierderi</b> .....	<b>132</b>
4.2.1	<i>Calculul perioadei de vulnerabilitate</i> .....	133
4.2.2	<i>Estimarea frecvenței medii de pierdere a unei celule</i> .....	138
<b>4.3</b>	<b>Transferul fără pierderi</b> .....	<b>143</b>
4.3.1	<i>Semnalizare de tip “in-slot”</i> .....	143
4.3.2	<i>Transfer fără pierderi cu “VC-Flushing”</i> .....	146
4.3.3	<i>Limitări ale procedeeului cu “VC-Flushing”</i> .....	150
<b>4.4</b>	<b>Procedeu nou de transfer fără pierderi</b> .....	<b>152</b>
4.4.1	<i>Principiul de bază al transferului de tip “Sync-Tag-Handover (STH)”</i> .....	152
4.4.2	<i>Gestiunea tag-urilor și a buffer-ului</i> .....	154
4.4.3	<i>Transfer înapoi utilizând procedeeul STH</i> .....	157
4.4.4	<i>Transfer înapoi forțat utilizând procedeeul STH</i> .....	165
4.4.5	<i>Transfer înainte utilizând procedeeul STH</i> .....	168
4.4.6	<i>Limitări și avantaje ale procedeeului STH</i> .....	169
<b>4.5</b>	<b>Definiția semnalelor OAM și a fluxurilor F5 pentru STH</b> .....	<b>169</b>
<b>4.6</b>	<b>Concluzii</b> .....	<b>171</b>

<b>5 Concluzii generale</b> .....	173
<b>5.1 Privire de ansamblu asupra lucrării</b> .....	173
<b>5.2 Contribuții personale</b> .....	177
<b>5.3 Concluzii</b> .....	178
<b>5.4 Perspective de viitor</b> .....	180
<b>Bibliografie</b> .....	B-1

## Abrevieri

<b>3G</b>	Sistem de telefonie mobilă din generația a III-a (3rd Generation Mobile System)
<b>4G</b>	Sistem de telefonie mobilă din generația a IV-a (4th Generation Mobile System)
<b>ABR</b>	Available Bit Rate
<b>ACS</b>	Area Communications Server
<b>APCP</b>	Access Point Control Protocol
<b>ASP</b>	Application Service Provisioning
<b>ATM</b>	Asynchronous Transfer Mode
<b>BRAN</b>	Broadband Radio Access Network
<b>CAC</b>	Call Admission Control
<b>CAP</b>	Connection Anchor Point
<b>CBR</b>	Constant Bit Rate
<b>CDV</b>	Cell Delay Variation
<b>CDVT</b>	Cell Delay Variation Tolerance
<b>CER</b>	Cell Error Ratio
<b>CLR</b>	Cell Misinsertion Rate
<b>COS</b>	Cross-Over Switch
<b>CTD</b>	Cell Transfer Delay
<b>DAB</b>	Digital Audio Broadcast
<b>DVB</b>	Digital Video Broadcast
<b>DCOSDR</b>	Dynamic Cross-Over Switch Discovery Rerouting
<b>ERP</b>	Enterprise Resource Planning
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute
<b>FDDSF</b>	Field Direction Delay Spread Function
<b>GFR</b>	Guaranteed Frame Rate
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communication
<b>HIPERLAN</b>	High Performance Radio LAN
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>IMT-2000</b>	International Mobile Telecommunications 2000

## ***Abrevieri***

<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>ITU</b>	International Telecommunication Union
<b>LMCS</b>	Local Multipoint Communication System
<b>LMDS</b>	Local Multipoint Distribution System
<b>LOS</b>	Line Of Sight
<b>MAS</b>	Mobility supporting ATM Switch
<b>MBS</b>	Maximum Burst Size
<b>MCR</b>	Minimum Cell Rate
<b>MFS</b>	Maximum Frame Size
<b>MP3</b>	MPEG Layer 3
<b>MPEG</b>	Moving Pictures Expert Group
<b>MPLS</b>	Multiprotocol Label Switching
<b>MNAV P</b>	Mobile Network Architecture based on Virtual Path
<b>NCNR</b>	Nearest Common Node Rerouting
<b>NLOS</b>	Non-Line-Of-Sight
<b>NGN</b>	Next Generation Network
<b>nrt-VBR</b>	Non-Real-Time VBR
<b>OAM</b>	Operation and Maintenance
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency Division Multiplex
<b>OQAM</b>	Offset Quadrature Amplitude Modulation
<b>OQPSK</b>	Orthogonal Quadrature Phase Shift Keying
<b>PCR</b>	Peak Cell Rate
<b>PDDS</b>	Power Delay-Direction Spectrum
<b>PNNI</b>	Private Network Node Interface
<b>PT</b>	Payload Type
<b>RAP</b>	Radio Access Point
<b>rt-VBR</b>	Real-Time VBR
<b>SCR</b>	Sustainable Cell Rate
<b>SECBR</b>	Severely Errored Cell Block Ratio
<b>SNR</b>	Raport semnal/zgomot (Signal-to-Noise-Ratio)
<b>STH</b>	Sync-Tag-Handover
<b>TIME</b>	Telecommunication, Information, Media, Entertainment
<b>TRX</b>	Transceiving (Transmitting/Receiving) Unit

<b>UBR</b>	Unspecified Bit Rate
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunication System
<b>UPC</b>	Usage Parameter Control
<b>URAN</b>	UMTS Radio Access Network
<b>UTRAN</b>	UMTS Terrestrial Radio Access Network
<b>VBR</b>	Variable Bit Rate
<b>VCI</b>	Virtual Connection Identifier
<b>VCT</b>	Virtual Connection Tree
<b>VPC</b>	Virtual Path Connection
<b>VPI</b>	Virtual Path Identifier
<b>WAP</b>	Wireless Application Protocol
<b>WATM</b>	Wireless ATM
<b>xDSL</b>	Digital Subscriber Line (x: Asymmetric/Symmetric/Very-High-Speed)



# 1 Introducere

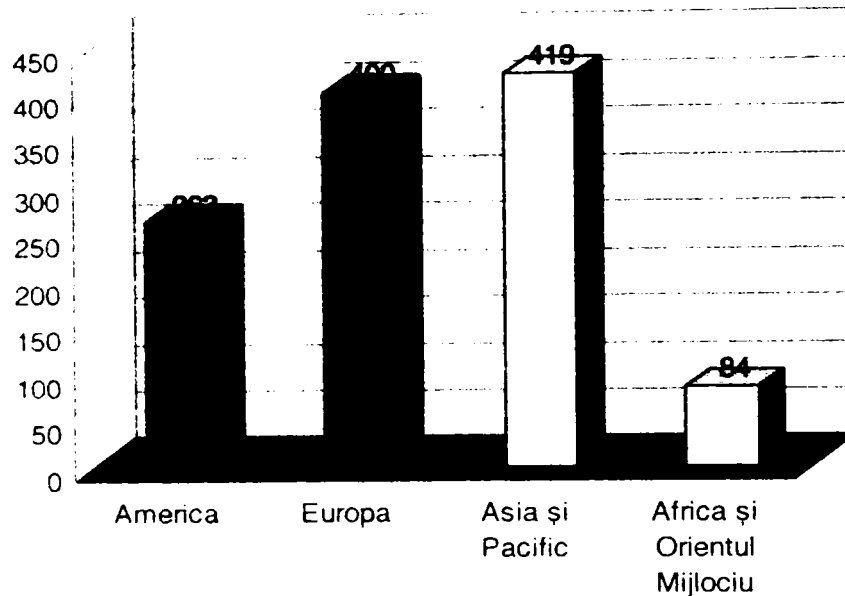
## 1.1 Evoluția rețelelor de telefonie mobilă

O rețea de telefonie mobilă, în general de tip celular, se poate defini ca fiind „o rețea de comunicare fără fir, în care diferite canale (frecvențe) radio prin care se accesează rețeaua sunt alocate diverselor celule. Prin gruparea adecvată a acestor celule în așa numite clustere se poate realiza o reutilizare spațială judicioasă și cu interferențe minime a acestor frecvențe. În rețele mobile de tip celular este posibil un transfer al conexiunii de la celulă la celulă (handover) precum și între rețele diferite (roaming) [61].

O rețea de telefonie mobilă modernă este, în sensul larg al definiției, un mediu de comunicare ce pune la dispoziția abonatului setul dorit, configurat individual, de facilități respectiv servicii. Aceste servicii îi stau permanent la dispoziție prin intermediul interfeței de accesare a rețelei, denumită curent interfață radio. Funcțiile unei rețele mobile moderne pot fi deci încadrate în două categorii principale: transmisia radio și comutarea.

Transmisia radio realizează comunicarea fără fir dintre echipamentul abonatului și punctul său de accesare a rețelei, permițând schimbarea în orice moment a acestui punct, deci mobilitatea echipamentului. La rândul ei, tehnica de comutație permite o ghidare precisă prin rețea a informațiilor apelate de abonat. Deasemenea, o serie de alte servicii, ca de exemplu autentificarea sau cifrarea, sunt implementate central și, la nevoie, comutate spre punctul de acces al abonatului. În acest caz se poate vorbi de o mobilitate de abonat sau, cu alte cuvinte, o mobilitate personală. Îndeosebi cerința de a pune la dispoziție un set de servicii individuale și individualizate la un nivel de calitate constant reprezintă la ora actuală factorul determinant în dezvoltarea de noi tehnologii. Acestea constituie atât tehnologii de suport flexibil al serviciilor individuale, adaptate la gradul mărit de mobilitate al abonatului care include și schimbări dese ale rețelei utilizate, cât și tehnologii de creștere a capacității și vitezei de transmisie în rețea pentru a o adapta la serviciile multimedia de viitor.

Stadiul de dezvoltare al rețelelor de telefonie mobilă de tip GSM în momentul de față precum și repartiția lor geografică este prezentat în figura 1.1. Acest standard, conceput în Europa începând cu anul 1982 și având ca element de noutate transmisia numerică a informației pe interfața radio, permițând atingerea unui nivel de calitate vocală nemaîntâlnit până atunci, a fost implementat pe scară largă începând cu anul 1992.



**Figura 1.1:** Dezvoltarea rețelelor GSM [60][89]

Posibilitatea, nouă la acea dată, de a utiliza terminalul mobil în toate rețelele construite conform acestei specificații a condus la o răspândire globală a acestor rețele (figura 1.2). În SUA au luat naștere standardele IS-95 și IS-136, urmate apoi, în Europa, de telefoanele casnice fără fir (DECT) și alte sisteme radio numerice ca de exemplu TETRA. O altă direcție urmată este cea a sistemelor globale bazate pe sateliți amplasați pe orbite joase (LEO) [60].

Pe de altă parte s-a încercat dezvoltarea de noi servicii, la început bazate pe tehnologia ISDN sau create în analogie cu ce s-a creat în rețelele fixe, servicii care înglobau deja, prin definiție, această decuplare a abonatului, respectiv serviciului, de echipamentul folosit, permițând o extindere a lor peste granițele naționale.

În momentul de față accentul se pune pe dezvoltarea serviciilor multimedia bazate pe transmisiile de date de mare viteză. Deși volumul de trafic și deci

veniturile firmelor ce exploatează rețele de telefonie mobilă este furnizat în continuare în principal de telefonia clasică, în ultimii ani a devenit din ce în ce mai importantă contribuția unor noi servicii la cifra de afaceri a acestora: Short Message Service (SMS) și mai nou Multimedia Service (MMS), gama de servicii bazate pe Wireless Application Protocol (WAP) [252] ca și protocol de accesare la internet, etc.( figura 1.3 )

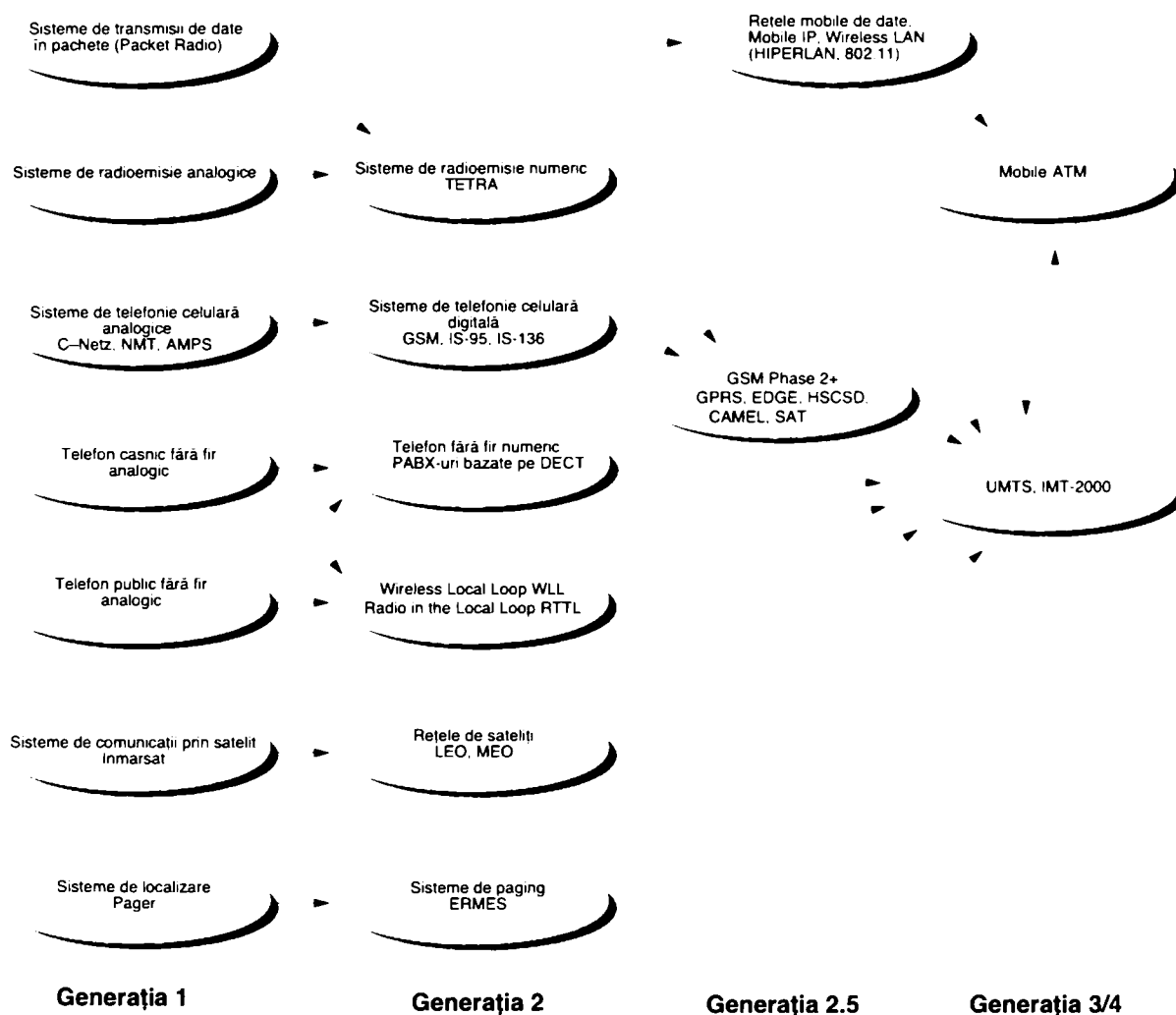
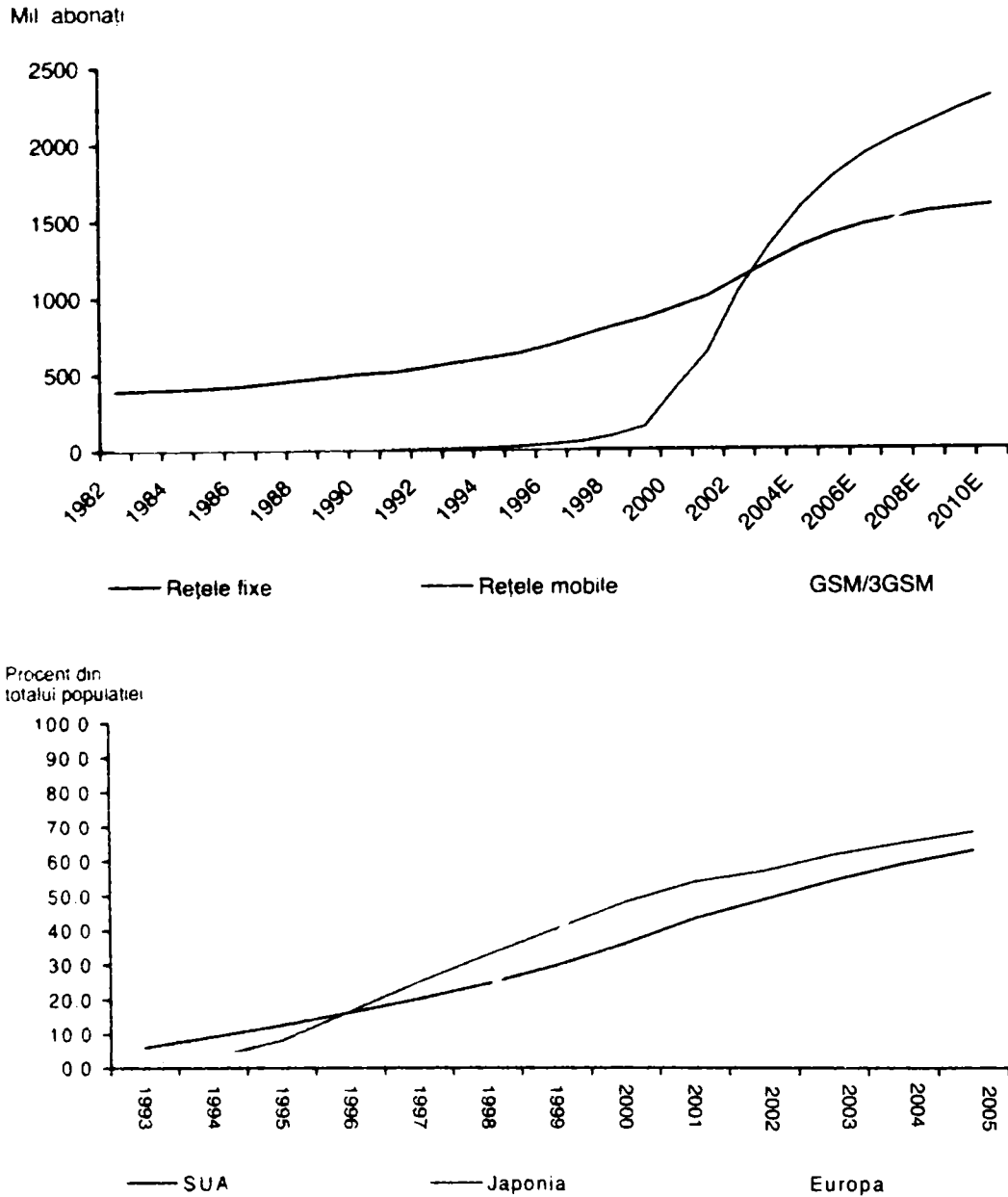


Figura 1.2: Sisteme de comunicații mobile

Rețelele mobile din generația următoare („Next Generation Wireless“) trebuie să satisfacă următoarele cerințe primordiale:

- servicii purtătoare (bearer services) flexibile, capabile să atingă viteze de transmisie comparabile cu cele din rețeaua fixă;

- transmisii de date în pachete, pentru a facilita accesul la internet;
- capacitate mare de transmisie în rețea, pentru a se adapta rapid la nevoile abonaților.



**Figura 1.3:** Dezvoltarea rețelelor de telefonie mobilă [89][119]

Acest nou standard a fost definitivat într-o primă variantă la ETSI sub denumirea de Universal Mobile Telecommunication System (UMTS) și face parte din sistemul International Mobile Telecommunication System IMT-2000 coordonat la ITU-T. Versiunea ce se implementează la ora de față și a intrat în exploatarea comercială în acest an în majoritatea țărilor europene este o versiune preliminară a

acestui standard, cunoscută sub numele de Release-99. În general se vorbește în literatura de specialitate despre sisteme din generația a 3-a (3G).

În același timp se lucrează și la perfecționarea sistemului GSM, prin utilizarea de noi tehnologii: General Packet Radio Service (GPRS) pentru îmbunătățirea transmisiilor de date și a accesului la internet, iar mai nou, prin introducerea unui procedeu de modulație denumit Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE), care, în combinație cu GSM în așa numitul GERAN (GSM/ Edge Radio Access Network), oferă rate de transmisie a datelor de până la 200 kb/s. Această evoluție către așa-numita generație 2+ face ca rețelele GSM să coexiste, pentru mult timp de acum înainte, cu rețelele 3G, coexistență întărită și de faptul că terminalele mobile vor fi de la bun început bi-standard, oferind abonatului o mare flexibilitate în alegerea operatorului dorit.

Paralel cu această evoluție sunt extinse tehnologiile de Internet "clasice" înspre domeniul fără fir, prin adăugarea unor componente mobile: Mobile IP, Wireless LAN. În acest scop au fost definite și implementate noi procedee de acces prin radio care permit atingerea unor rate de transmisii de date comparabile cu cele din tehnologia cablată. Deasemenea, extinderea tehnologiei ATM cu ajutorul unor componente mobile (ATM mobil, Wireless ATM) va conduce la folosirea acestei tehnologii în rețele locale de comunicații de bandă largă, de ordinul a câțiva gigabiți/sec.

## 1.2 Mobility Management

### 1.2.1 Definiție

Funcțiile principale ale unei rețele de telefonie mobilă pot fi încadrate în cinci categorii mari: localizare (location management), roaming, securitate (security management), rutare (routing management), transfer (handover management). Mobility management sau, în traducere directă, gestionarea mobilității unui terminal mobil prezintă două componente: gestiunea locației (*location management*), reprezentând mecanismul de precizare a poziției abonatului la un moment dat și gestiunea transferului (*handover management*), reprezentând mecanismul de

transfer al unei conexiuni de la un element de rețea la cel următor fără a pierde convorbirea sau respectiv serviciile puse la dispoziție.

### 1.2.2 Componente

#### **Gestiunea locației**

Gestiunea locației este un proces ce se desfășoară în două trepte și care permite rețelei să descopere și să determine cu precizie poziția terminalului mobil în rețea, respectiv punctul său de acces (ancorare) la aceasta.

Într-o primă etapă este efectuată o înregistrare a locației curente sau o actualizare a acesteia (termenul clasic de *"location update"*). Terminalul mobil comunică periodic rețelei locația actuală respectiv punctul de ancorare în rețea, permițând astfel o actualizare a profilului său memorat anterior. Etapa următoare este cea de transfer al convorbirii (*"call delivery"*) în care, având memorată locația actuală și profilul curent, rețeaua este în măsură să transfere în timp util un apel sau un serviciu cerut de abonat spre terminalul său mobil.

Direcțiile actuale de cercetare a acestui mecanism implică un redesign al arhitecturii bazelor de date ce conțin profilul abonaților precum și al mecanismelor de comunicare între diversele componente ale rețelei de semnalizare, cu scopul de a face față noilor cerințe impuse de creșterea vertiginoasă a numărului de abonați. Alte domenii de interes sunt: securitatea rețelei, actualizări dinamice ale bazelor de date, întârzierile sistemice la o cerere de actualizare, noi metode mai rapide de căutare, etc., preocupări sistematizate și ilustrate în figura 1-4.

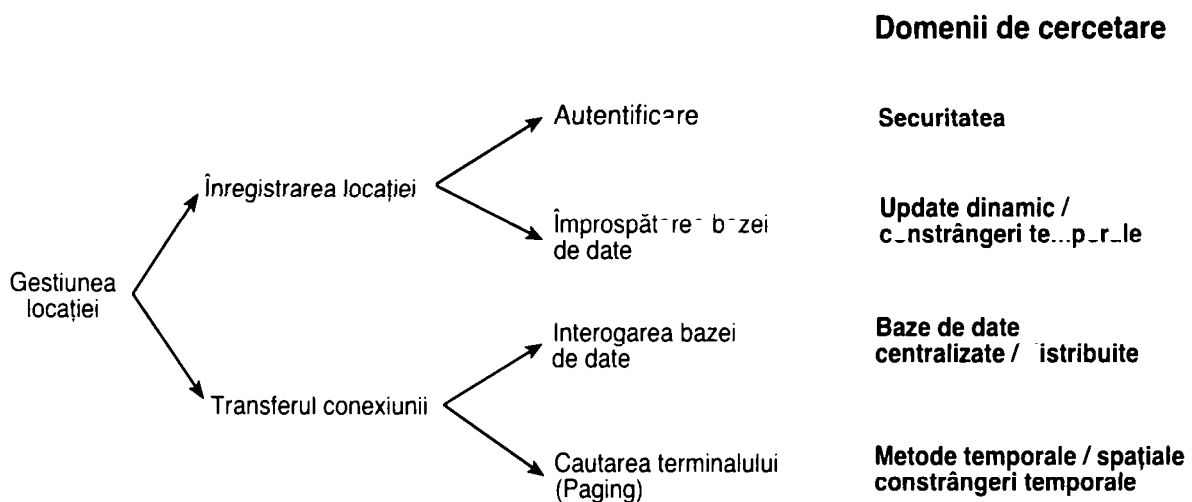
Avantajul prezentat de gestiunea locației unui abonat constă în faptul că aceasta constituie în principal o problemă de administrare a unei baze de date și de semnalizare, fiind astfel quasi-independentă de protocolul utilizat și deci aplicabilă, în funcție de cerințe, la numeroase protocoale respectiv tipuri de rețele: PSTN, ISDN, IP, Frame-Relay, X.25 sau ATM.

#### **Gestiunea transferului**

Gestiunea transferului (*"handover management"*) permite rețelei să mențină fără întrerupere o conexiune pe timpul deplasării abonatului în rețea, respectiv la

schimbarea punctului de accesare a rețelei. Procesul se desfășoară în trei faze consecutive (figura 2):

- *faza de inițializare*, în care abonatul, rețeaua sau un factor extern ce influențează condițiile din rețea identifică nevoia unui transfer al conexiunii spre un alt punct de acces;
- *faza de stabilire a unei noi conexiuni*, în decursul căreia rețeaua alocă resursele necesare acestei noi conexiuni, în paralel cu cea existentă, resurse ce implică, la nevoie, o nouă schemă de rutare. Din punctul de vedere al controlului inteligent al acestui proces se poate face distincția între un transfer controlat din rețea, în care caz rețeaua are rolul determinant, terminalul mobil avînd un rol ajutător și un transfer controlat de terminalul mobil în care caz deciziile sunt luate de către terminalul mobil și confirmate de rețea;
- *faza de control al fluxului de date* în care se asigură un transfer de date constant între conexiunea veche și cea nouă în concordanță cu serviciile apelate de abonat.



**Figura 1.4:** Operații de gestiune a locației

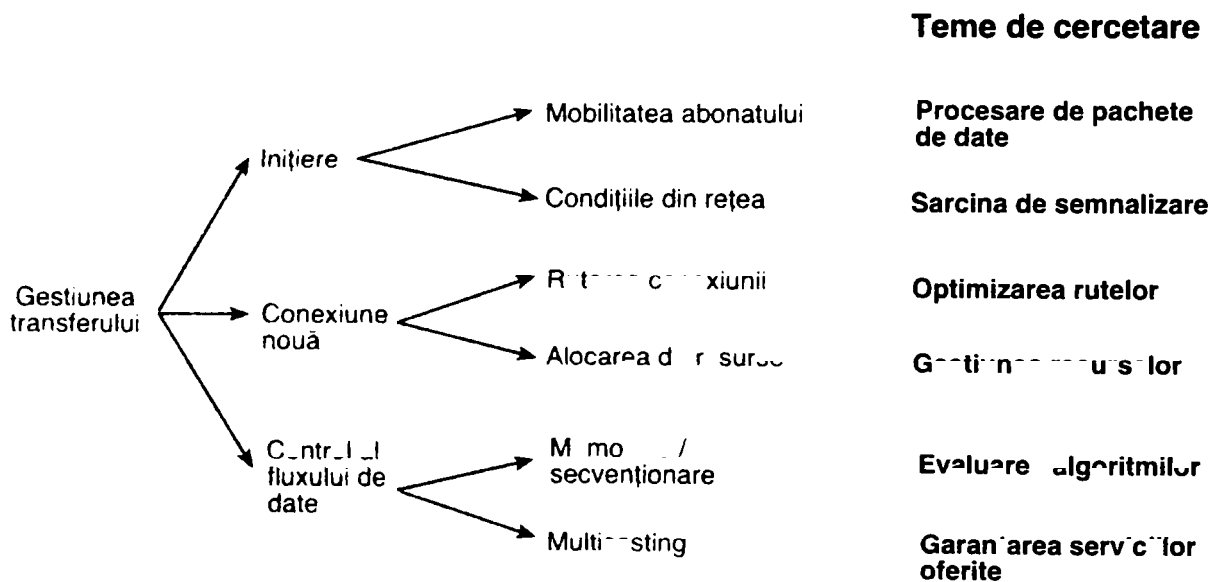
Într-o reprezentare simplificată, se pot identifica în procesul de decizie a unui handover doi factori determinanți: calitatea rețelei și gradul de mobilitate a terminalului. Deasemenea, se face distincția între un handover intra-celulă, în care

conexiunea este transferată pe o nouă frecvență purtătoare a aceluiași emițător și un handover inter-celulă cu transfer al apelului spre o nouă celulă învecinată.

Mobilitatea abonatului are ca rezultat întotdeauna declanșarea unui transfer inter-celulă, pe când handover-urile datorate deprecierei calității sunt în cea mai mare parte intra-celulă.

Deasemenea putem distinge între un transfer soft în care cele două conexiuni, veche și nouă, pot coexista pentru o perioadă de timp determinată și un transfer hard în care apelul este comutat brusc de la o rută la alta.

În figura 1.5 sunt prezentate câteva din temele de cercetare actuale privitoare la gestiunea transferului.



**Figura 1.5:** Gestiunea transferului, direcții de cercetare

Dependența nemijlocită a protocoalelor de transfer de rutele folosite și de procedeele de rutare, gestiunea resurselor existente în rețea și modul de livrare la destinație a pachetelor de date fac ca acești algoritmi să fie, spre deosebire de cei de gestiune a locației, foarte strâns legați de tipul de rețea folosit, de infrastructura și interfețele pe care le posedă. Pentru rețelele de comunicație din generația următoare va fi imperios necesară definirea unor arhitecturi standard, care să permită tipizarea metodelor de accesare a diverselor servicii pe plan local, național sau internațional.



## 1.3 Rețele de bandă largă

### 1.3.1 Definiție, dezvoltare, tehnologie

Termenul de rețea de bandă largă provine din telefonia clasică, fiind utilizat în literatura de specialitate atât pentru a defini o rețea telefonică digitală cu servicii integrate de tip ISDN cât și pentru o rețea de televiziune prin cablu. Deasemenea, în domeniul rețelelor locale de date bazate pe protocolul IP se vorbește de rețele de bandă largă atunci când se amintește familia de adaptoare Ethernet cu rate de transmisie de 100 Mbit/s sau, mai nou, din domeniul Gbit/s. Definiția clasică a unei rețele de bandă largă din telecomunicații este cea a unei rețele care “permite transferul de mesaje prin canale cu rate de transfer adaptabile și folosește cu preponderență modul de transfer asincron (Asynchronous Transfer Mode, ATM)” [61]. Definiția consideră o rețea cu servicii integrate și tehnologii de transport și comutare unice în toată rețeaua. Dezvoltări de ultimă oră separă termenul de rețea de bandă largă de tehnologia de comutare folosită deoarece în aceste rețele există deja o delimitare între o rețea de transport, foarte performantă, și o multitudine de rețele de acces folosind diverse tehnologii de comutare. De aceea în cele ce urmează se va vorbi de rețele de bandă largă în sensul definit în recomandarea ITU-T I.113 [93] ca fiind acele rețele care pun la dispoziția utilizatorului o rată de transmisie de date de cel puțin 2 Mbit/s și care oferă în acest cadru canale de transmisie a căror rată de transmisie poate fi liber aleasă. Transmisia poate fi realizată atât pe o conexiune fixă cât și în absența acesteia, ea fiind realizată pe bază de pachete de date ce își caută în mod independent calea de urmat prin rețea.

Această tehnică se folosește și în cazul modului de transfer asincron ATM, tehnologie de transport utilizată în rețeaua backbone a rețelelor de telefonie mobilă din generația 3G. Termenul “mod de transfer” cuprinde toate aspectele legate de transmisie, multiplexare și comutare într-o rețea de telecomunicații. În cadrul modului de transfer asincron fluxul de date utile este segmentat în mici pachete de lungime dată (53 octeți), numite celule. El este denumit asincron pentru că aceste celule nu sunt transmise cu o anumită periodicitate dată de o sursă de tact externă [93].

Inițial, ATM a fost planificat să fie introdus ca unică tehnologie de comutație a unui sistem de telefonie de bandă largă cu servicii integrate, denumit Broadband-

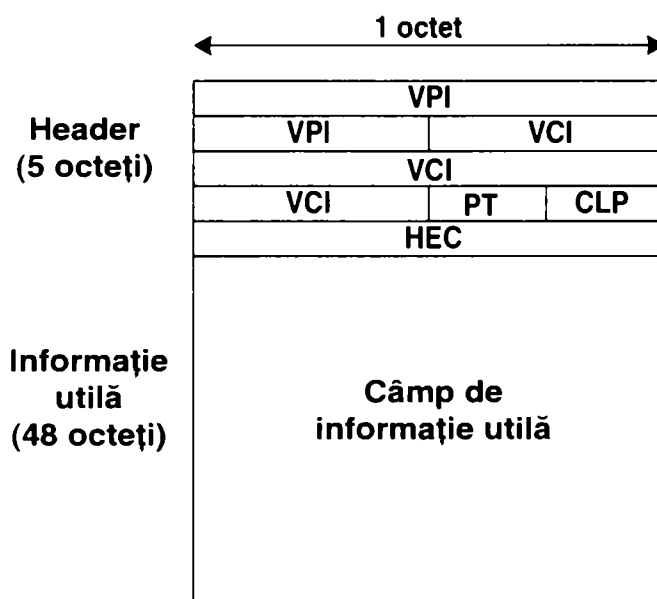
ISDN (B-ISDN), care ar fi integrat serviciile de telefonie clasică cu serviciile de date moderne într-o rețea unitară în care calitatea serviciilor ar fi fost adaptabilă la cerințele utilizatorului (de exemplu viteza de transmisie, întârzierea în rețea, fluctuația vitezei de transmise, etc.). Dezvoltarea tehnicilor de transmisie de date bazate pe protocolul de internet IP cu viteze de transmisie de peste 100 Mbit/s și la un preț de cost mult mai favorabil decât cel al tehnologiei ATM a condus însă la înlocuirea acesteia în rețeaua de acces, ea rămânând însă tehnologia principală în rețeaua backbone.

În ultima perioadă de timp se constată totuși un reviriment considerabil al ATM-ului în rețeaua de acces, odată cu introducerea tehnologiilor de acces la internet ("last mile") din familia xDSL (Digital Subscriber Line) [38]. Cea mai cunoscută dintre ele este ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), introdusă pe scară largă în Piața Comună și SUA, în care este posibilă atingerea unor viteze de transmisii de date de ordinul a 2 Mbit/s. Viteze considerabil mai mari de ordinul a 26-52 Mbit/s sunt posibile utilizând tehnica VDSL (Very-High-Speed Digital Subscriber Line) [45]. Implementările actuale oferă abonatului la punctul terminus al rețelei o interfață Ethernet pentru conectarea unor rețele locale de calculatoare. Spre Internet se oferă în general o interfață standardizată ATM prin care datele sunt transmise către router-ul cel mai apropiat sub formă de pachete IP.

### **1.3.2 Rețele cu mod de transfer asincron (ATM)**

Transmisia de date în rețelele ATM se realizează pe bază de conexiuni virtuale cu comutație a pachetelor de date [206]. ATM definește în acest scop un pachet de date foarte mic (53 octeți), numit celulă. Dimensiunea foarte mică permite micșorarea considerabilă a întârzierilor de transmisie și de comutație. Inițial s-au realizat comutatoare de rețea în care algoritmi de comutație erau implementați hard, permițând comutația fără analiza conținutului pachetului. Între timp, performanța tehnologiei de calcul utilizate s-a mărit într-atât, încât se pot atinge parametri similari de transmisie chiar și utilizând routere bazate pe tehnologia IP.

Structura unei celule ATM este prezentată în figura 1.6. Header-ul pachetului conține, din motive de economie de spațiu și a utilizării de conexiuni virtuale, numai



**Figura 1.6:** Structura celulei ATM

o referință cu privire la conexiune (VCI-Virtual Channel Identifier, VPI-Virtual Path Identifier) în locul unei adrese complete a sistemului apelat, permițând utilizarea a nu mai puțin de 48 Byte pentru sarcina utilă. Conexiunile virtuale din ATM sunt organizate în două categorii: căi virtuale (Virtual Path, VP) și canale virtuale (Virtual Channel, VC). Căile virtuale sunt adresate pe 8 biți, canalele virtuale pe 16 biți. Canalele virtuale sunt de fapt conexiunile, privite de la un capăt la altul (end-to-end), prin care sunt transportate datele utile. Cu ajutorul conceptului de căi virtuale, VP, se oferă posibilitatea legării mai multor canale VC în așa-numite fascicule, oferind avantajul comutării simultane a tuturor canalelor aparținând unui fascicul. Comutarea căilor virtuale într-o rețea backbone se face de cele mai multe ori într-o matrice de comutare ("crossconnect"), de aceea se folosește pentru switch-urile de căi virtuale și denumirea de VP-Crossconnect. Nivelul al doilea, superior, de comutare este cel al canalelor virtuale, denumit prin analogie nivel de comutare VC, iar conexiunile ce se realizează pe acest plan sunt atât de tip permanent realizate prin setări la nivelul managementului de rețea (VC-Crossconnect), cât și temporare, realizate la cerere (transmisă prin intermediul sistemului de semnalizare), denumite VC-Switch. Descriș în mod plastic, sistemul de căi virtuale se aseamănă unor legături prin conducte "virtuale", prin care sunt canalizate conexiunile virtuale. Un exemplu clasic de utilizare îl constituie conectarea mai multor locații, clădiri, etc.

aparținând unei și aceleiași firme, în care caz se definește o rețea logică bazată pe VP în care conexiunile sau fluxul de date se transmite prin VC pe traseele VP fără a avea nevoie de funcțiile de control al comutării specifice unei rețele "clasice".

Transmisia celulelor ATM aparținând conexiunilor virtuale se face asincron, cu o viteză de transmisie liber aleasă, cu alte cuvinte viteza de transmisie poate fi setată potrivit cerințelor concrete existente în momentul stabilirii conexiunii și poate varia pe durata acesteia, în anumite limite prestabilite. Această asincronicitate permite deasemenea multiplexarea statistică a mai multor conexiuni virtuale pe un mediu de transmisie fizic. În acest scop se definește, în procesul de stabilire a conexiunii, un set de caracteristici de calitate dorite, pe baza cărora conexiunea este negociată și mai apoi setată (Call Admission Control, CAC). Pentru îndeplinirea normelor de calitate a fost necesară introducerea unui procedeu de management al fluxurilor de date ATM [169][2]. În cadrul acestui management de trafic (ATM traffic management) s-au definit 6 categorii de servicii (numite și clase de trafic, vezi tabelul 1.1) precum și parametri ce descriu caracteristicile de trafic ale acestora (traffic parameters) și deasemenea calitatea dorită a serviciilor oferite (QoS parameters):

- Constant Bit Rate, CBR – rată de transmisie constantă: pentru conexiunile ce solicită o lățime de bandă constantă pe toată durata legăturii. Această cerință este definită prin intermediul ratei maxime de transmisie a celulelor (Peak Cell Rate, PCR). Categoria de servicii CBR este folosită în principal în cazul aplicațiilor în timp real, dar nu este limitată numai la acestea. Pentru aceste aplicații în timp real se utilizează parametri care definesc mai precis cerințele utilizatorului cu privire la calitatea serviciilor: întârzierea maximă pe calea de transmisie (maximum Cell Transfer Delay, maxCDT) și plaja de toleranță (Cell Delay Variation, CDV).
- Real Time Variable Bit Rate, rt-VBR - rată de transmisie variabilă pentru aplicații în timp real ce necesită această flexibilitate. În acest caz se utilizează, în completare la rata maximă de transmisie a celulelor, o rată medie pentru o durată dată a transmisiei (Sustainable Cell Rate, SCR) precum și valoarea maximă a burst-ului (Maximum Burst Size, MBS)

Tabelul 1.1: Categoriile de trafic ATM și parametrii QoS

Categoriile de servicii ATM							
Parametru		CBR	rt-VBR	nrt-VBR	UBR	ABR	GFR
<i>Trafic</i>	<i>CDVT</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	<i>PCR</i>	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	<i>SCR</i>	n/a	OK	OK	n/a	n/a	n/a
	<i>MCR</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	OK	OK
	<i>MBS</i>	n/a	OK	OK	n/a	n/a	OK
	<i>MFS</i>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	OK
<i>QoS</i>	<i>CDV</i>	OK	OK	N	N	N	N
	<i>maxCTD</i>	OK	OK	N	N	N	N
	<i>CLR</i>	OK	OK	OK	N	N	N
OK - Specificat		N – Nespecificat			n/a - neutilizabil		

- Non-Real-Time Variable Bit Rate, nrt-VBR – rată de transmisie variabilă pentru aplicații cu volum de trafic aleator (burst). Caracteristicile de trafic sunt și aici definite prin PCR, SCR și MBS, în analogie cu rt-VBR.
- Unspecified Bit Rate, UBR – rată de transmisie nespecificată: reprezintă serviciul care nu are nici un fel de pretenții cu privire la calitatea conexiunii, un fel de serviciu “best-effort”. Din această cauză valorile parametrilor sunt considerate ca fiind “recomandări”, respectarea lor nefiind garantată. Aplicațiile tipice ce utilizează această categorie de servicii aparțin domeniului comunicațiilor între calculatoare: e-mail, transfer de fișiere, etc.
- Available Bit Rate, ABR - rată de transmisie disponibilă: reprezintă serviciul care își adaptează viteza de transmisie respectiv reglează fluxul de celule în funcție de resursele disponibile în rețea la momentul respectiv. Mecanismele de reglare definite pentru această categorie utilizează semnalizarea in-slot pentru a introduce bucle de reglare în și pentru fluxul de celule. Parametrii utilizați sunt rata maximă PCR precum și o rată minimă de transmisie

(Minimum Cell Rate, MCR). Nici în acest caz nu este necesară specificarea întârzierii maxime de-a lungul conexiunii.

- Guaranteed Frame Rate, GFR – rată de transmisie garantată: reprezintă serviciul care este în măsură să aloce dinamic resursele disponibile unei anumite aplicații dar care, spre deosebire de ABR, nu folosește o buclă de reglare a fluxului de celule. În cazul unei suprasolicitări a rețelei se resping în locul unor simple celule unități întregi de date de protocol (Protocol Data Unit, PDU). Și în această categorie se utilizează parametrii de trafic amintiți anterior (PCR, MCR, MBS), definindu-se în plus lungimea maximă a ramei (maximum Frame Size, MFS). Rețeaua garantează în cazul GFR numai respectarea ratei minime de transmisie MCR. Mărirea ratei de transmisie se poate face numai în cazul în care există resurse disponibile în rețea.

Un parametru comun tuturor categoriilor de servicii este așa numitul factor de blocare, numit și toleranța variației întârzierii celulelor de-a lungul conexiunii (Cell Delay Variation Tolerance CDVT) prin care se definește întârzierea maximă permisă în transmiterea celulelor ATM față de momentul optim definit prin parametrii PCR și SCR. Acest tip de întârziere ia naștere în timpul unor operații utile ca de exemplu multiplexarea a două fluxuri de celule. Celulele celor două conexiuni sunt transmise consecutiv la intervale foarte scurte, acest proces putând cauza blocaje în sistem [2].

Rata de pierdere a celulelor (Cell Loss Ratio, CLR) constituie, pe lângă parametrii de calitate maxCDT și CDV definiți anterior, un parametru de rețea valabil pentru toate categoriile. Deasemenea, s-au prevăzut și parametri a căror valoare nu este negociabilă la setarea conexiunii: rata de eroare de celulă (Cell Error Ratio, CER), rata de eroare de blocuri de celule (Severely Errored Cell Block Ratio, SECBR), rata de eroare la comutarea celulelor (Cell Misinsertion Rate, CMR) [2].

Marele avantaj al tehnicii ATM față de alte tehnologii utilizate constă în existența acestor categorii de servicii cu parametrii ajustabili. Caracteristica de trafic precum și calitatea conexiunii, calitatea serviciului oferit (Quality of Service, QoS) sunt negociabile și, odată ce conexiunea a fost stabilită, garantate de către rețea. Rețeaua supraveghează respectarea acestor parametri de trafic (Usage Parameter Control UPC), numai așa putându-se asigura QoS dorită. În același timp, se pune la

dispoziție, chiar și în cazul unui volum de date fluctuant, numai lățimea de bandă absolut necesară la un moment dat, așa încât se poate atinge, cu ajutorul multiplexării statistice, un randament foarte bun de utilizare a capacităților de transmisie. Acesta este factorul esențial care determină folosirea predominantă a tehnologiei ATM în transportul de servicii diverse printr-un un mediu de transport fizic unic. Rețelele bazate pe tehnologia ATM utilizează o tehnică de comutare universală, destul de performantă și de flexibilă pentru a satisface cerințele unei multitudini de aplicații cu servicii integrate, de viitor.

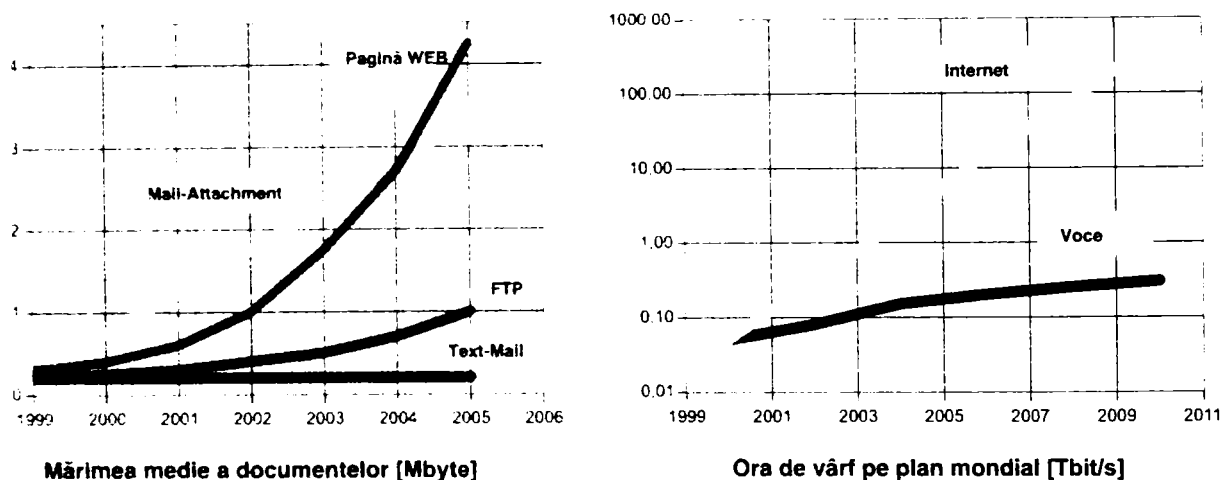
Prognoza actuală prevede, în viitorul apropiat, o creștere considerabilă a cerinței de rețele de bandă largă de acces sau transport (backbone). Convergența tot mai accentuată a piețelor TIME (Telecommunication, Information/IT, Media, Entertainment) conduce la un aflux din ce în ce mai mare de aplicații și contents care, la rândul lui, conduce la creșterea vertiginoasă a consumului de lățime de bandă de trafic.

Un exemplu aproape clasic în acest sens îl constituie creșterea ofertei de music-on-demand, mai ales în formatul de compresie MP-3 (MPEG Layer 3, [105]), pentru a cărui volum de date rețelele actuale sunt subdimensionate, rezultatul fiind un timp de încărcare cu mult mai lung decât durata piesei muzicale propriu-zise. Viteza de transmisie de date necesară pentru a scurta timpul de încărcare la o valoare de ordinul secundelor este cu două ordine de mărime mai mare decât cea realizabilă cu tehnologiile actuale. Fluxul de date MP3 are nevoie, în timp real, de circa 112-128 kbit/s pentru o înregistrare de calitate comparabilă cu cea de pe un cd, ceea ce înseamnă mărimi ale fișierului, pentru o durată standard de 3 minute, de 2-3 Mbyte. Pentru a downloada o mică colecție de 10 melodii într-un interval de timp de 5 minute din internet pe un player de MP-3 este necesară o viteză de transmisie de ordinul a 700 kbit/s. Aplicațiile video au cerințe și mai mari față de rețea, de exemplu standardul digital MPEG2 poate fi recepționat în timp real cu 2-8 Mbit/s, în care caz însă durata de încărcare a filmului corespunde aproximativ duratei efective a acestuia, care constituie de fapt și durata maximă pentru o aplicație pay-per-view. Viteza de transmisie trebuie să crească atât de mult, încât să se ajungă în domeniul minutelor, pentru o achiziționare urmată de o stocare locală a filmelor.

Un alt exemplu elocvent ce ilustrează creșterea vertiginoasă a necesității de lățime de bandă în constituie schimbarea actuală a întregului proces de licențare a



produselor soft. Programele pentru soluții standard nu se mai cumpără cu licențe instalabile local ci se închiriază modulele dorite, pe perioade de timp definite, de la un așa-numit Application Service Provider [151]. Programul poate rula, pe această perioadă de timp, atât pe serverul ASP-ului cât și local, pe calculatorul clientului. Domeniile principale de utilizare a acestor ASP-uri sunt soluțiile financiar-contabile sau de suport al managementului, ca de exemplu Enterprise Resource Planning ERP. Pentru diverse soluții specifice ale clientului sunt folosite adeseori interfețe de acces sau de apelare a datelor din baze de date ce utilizează algoritmi de cifrare deosebit de siguri. Și aceste proceduri pot fi consumatoare de lățime de bandă în momentul în care ele încarcă un cod de software în loc să execute o rutină de instalare, mai puțin sigură. În aceste cazuri se utilizează cu precădere tehnologiile bazate pe limbajul de programare Java. Chiar și module relativ mici ating mărimi de ordinul sutelor de kbyte, de aceea, pentru a asigura un anumit nivel de productivitate dorit, ele trebuie încărcate într-un timp foarte scurt.



**Figura 1.7:** Prognoza cu privire la evoluția cerinței de lățime de bandă

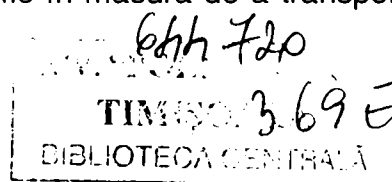
Aceste exemple ilustrează în mod clar tendința de viitor cu privire la lățimea de bandă. Chiar și cele mai noi progrese făcute în domeniul codării și decodării (MPEG 4 utilizează de exemplu, numai 96 kbit/s pentru calitate audio comparabilă cu cea oferită de un compact disc) nu vor putea schimba acest trend, dat fiind faptul că o dată cu răspîndirea tot mai largă a acestor servicii va crește și gradul lor de utilizare [132][202]. Această afirmație poate fi exemplificată referindu-ne la serviciile



clasice de internet. În diverse studii se măsoară, analizează și respectiv proiectează în viitor, la intervale regulate de timp, cele două mărimi de referință: dimensiunea documentelor și volumul de date transmis. Rezultatele unei astfel de prognoze sunt prezentate în figura 1.4: pentru un e-mail standard de dimensiune medie precum și pentru site-uri de Web se prevede în următorii 5 ani o creștere cu circa un ordin de mărime. Volumul global de date transmis în ora de vârf (busy hour) a depășit deja în momentul de față volumul de trafic vocal iar rata estimată de creștere este de circa 10 ori la un interval de 2 ani.

### **1.3.3 Cerințele actuale privitoare la rețele mobile de bandă largă**

Dacă se compară în mod obiectiv rețelele mobile 3G cu rețelele cablate sau de acces local fără fir se constată că, în ciuda efortului tehnologic depus pentru implementarea soluției tehnice, ele vor rămâne în urmă atât din punct de vedere al performanțelor cât și al cerințelor în continuă creștere ale abonatului, care merg tot mai mult în direcția aplicațiilor multimedia. Rețelele mobile nu oferă nici lățimea de bandă și nici calitatea serviciilor (negociabilă și garantată) dorită. UMTS va putea oferi viteze de transmisie de 2Mbit/s numai în perimetre foarte restrânse și în condiții de propagare optime și deci nu va putea oferi aplicații multimedia de rezoluție ridicată [205]. Restricția de viteză de transmisie nu se aplică numai pentru interfața radio (UMTS Terrestrial Radio Access Network UTRAN) ci și la rețeaua backbone. De aceea se lucrează deja pe plan mondial la specificarea unui sistem de comunicații mobile din generația a IV-a, denumit 4G sau NGN (Next Generation Network) care să ofere atât suportul necesar aplicațiilor multimedia cât și viteze de transmisie a datelor de ordinul a 155 Mbit/s. Pentru aceasta se ia în considerare extinderea tehnicii de comutație utilizată în rețelele ATM și la rețelele de acces fără fir. În Forumul ATM, asociație a producătorilor de echipament cu scopul de a coordona activitățile de standardizare și de marketing pentru tehnica ATM de bandă largă, se lucrează la completarea unui standard de Wireless ATM (WATM) [52][96]. Pentru Wireless ATM există, în principal, două metode de realizare: pe de o parte se poate implementa, prin intermediul unei tehnici de transmisie radio incompatibilă cu ATM, accesul de bandă largă la o rețea ATM ce suportă mobilitatea, pe de altă parte se încearcă o implementare ATM pentru întregul lanț de transmisie. Aceasta presupune ca tehnica de transmisie radio să fie în măsură de a transporta celulele



ATM. Cerințele generale impuse asupra tehnologiei de acces la o rețea de tip ATM sunt foarte ridicate, atât în ceea ce privește erorile de bit respectiv probabilitatea de eroare, cât și în privința capacității de a oferi categorii de servicii cu parametrii negociabili.

O consecință directă ce rezultă din aceste cerințe de implementare este faptul că abonații ATM devin mobili fără a renunța la folosirea nici măcar a unuia din serviciile utilizate anterior. Sarcinile de realizat sunt noi, în principal ele fiind funcțiile de bază ale unei rețele mobile respectiv ale managementului mobilității, discutate anterior. Modul de transfer asincron, ATM, așa cum a fost el standardizat de ITU-T și propagat în Forumul ATM, a fost conceput pe baza unor abonați legați prin cablu la rețea [17][111][114][116], neoferind mecanisme de localizare a abonatului sau funcții specifice de transfer sau rerutare a conexiunilor.

Separarea dintre abonat și terminal nu există încă în ATM. Conexiunile ajung la punctul lor terminus pe baza unui plan de numerotare implementat în puncte fixe, neschimbabile, de acces la rețea. Această adresă invariabilă a sistemului terminus apelat poate fi folosită, în cazul unui terminal mobil, numai pentru a determina baza de date ce stochează informațiile cu privire la locația actuală a abonatului. Aceste baze de date de localizare precum și mecanismele de stocare respectiv apelare a datelor aferente constituie, împreună cu algoritmi de siguranță, baza pentru asigurarea unui roaming la scară mondială a abonaților. Tehnica WATM fiind considerată o completare la tehnicile de acces deja existente pentru rețelele 3G, și procedeele de semnalizare folosite în cadrul ei vor fi compatibile cu cele din UMTS / IMT 2000. Un factor de mare importanță în elaborarea de noi tehnologii pentru rețelele NGN îl constituie conceptul de "ubiquitous wireless", sau, în traducere directă "comunicații fără fir omniprezente". Acest concept prevede înlocuirea completă a comunicațiilor tradiționale, din rețele cablate, prin comunicații fără fir, multistandard. Terminalele mobile sunt în măsură de a utiliza mai multe rețele, bazate pe tehnologii diferite, în funcție de serviciile accesate la momentul respectiv. Pentru aceasta, este necesar a integra și a facilita interoperabilitatea dintre diferitele procedeele de gestiune a mobilității din aceste rețele heterogene, cu scopul final al implementării unui roaming global.

O altă cerință de mobilitate în rețelele ATM este cea legată de transferul conexiunii, cu cele două aspecte: transferul unei conexiuni pe partea radio de la o

stație de bază la alta iar pe de altă parte rerutarea conexiunii în rețea. Prin rerutare se înțelege găsirea, prin metode statice sau dinamice, a unei noi căi de transmisie pentru segmente date ale conexiunii. În cadrul Forumului ATM s-au standardizat [19] noi protocoale de semnalizare ce permit atât controlul conexiunii cât și căutarea dinamică a unei noi căi în rețea. Deasemenea s-au dovedit a fi necesare funcții de comutație suplimentare în nodurile rețelei pentru a permite comutarea tronsoanelor. Aceste protocoale respectiv funcții țin seama de calitatea serviciilor necesară, cerută la stabilirea conexiunii, îndeosebi de frecvența de pierdere a celulelor respectiv de întârzierea pe calea de transmisie urmată. Factorul de noutate în WATM îl constă faptul că sunt necesare și mecanisme de setare a conexiunii pe anumite segmente respectiv mecanisme de încadrare, în timpul operației de transfer, în clasa de servicii negociată anterior. În mod ideal, transferul pe un alt segment se realizează fără pierderi de celule, dacă clasa de servicii impune această condiție.

Funcțiile cele mai complexe necesare a fi realizate în WATM sunt cele de control respectiv transfer al conexiunii (Call Control, Handover). Ele implică modificări substanțiale ale arhitecturii rețelei de transport și ale nodurilor de comutație. Toate celelalte funcții se pot implementa mai simplu, prin extinderea protocoalelor de semnalizare.

În această lucrare autorul prezintă o nouă metodă de evitare a pierderilor de celule la transferul unei conexiuni ATM. Acest procedeu este flexibil, fiind în măsură să se adapteze la multiplele cerințe de calitate puse în fața conexiunii precum și la condițiile fizice concrete respectiv la mecanismele de transfer existente. Pentru rerutarea conexiunii în timpul transferului se definește un mecanism cu "ancoră" utilizând conceptul de cale virtuală (VP) din ATM.

Această teză de doctorat s-a născut sub atenta coordonare și îndrumare a domnului prof. dr. ing. Tiberiu Mureșan, căruia autorul dorește să îi mulțumească în mod deosebit pentru sugestiile și sfaturile deosebit de utile, pentru sprijinul atât științific cât și moral acordat și deasemenea pentru a fi înțeles condițiile uneori dificile de lucru și de comunicare. Totodată, autorul ține să mulțumească pe această cale tuturor celor care, pe parcursul deceniului de activitate, l-au susținut și îndrumat pentru a duce la bun sfârșit această lucrare. Autorul împărtășește bucuria și satisfacția datorată muncii duse la bun sfârșit împreună cu familia sa, în special cu

soția și fiica care au dat dovadă de multă înțelegere pentru această activitate desfășurată exclusiv în timpul liber, și așa limitat.

## 2 Arhitecturi de rețele de tip ATM mobil

În capitolul de față se oferă o privire de ansamblu asupra evoluției și stadiului actual al cercetării cu privire la sistemele mobile de bandă largă, se prezintă modelele și conceptele utilizate în capitolele următoare, se descriu exemple de folosire a serviciilor mobile de bandă largă și se amintesc principalele proiecte de cercetare respectiv standardizare. Deasemenea sunt prezentate canalele radio relevante cu caracteristicile lor principale, explicate scenarii tipice de transmisie și evaluată influența lor asupra protocolului utilizat. În același timp este introdus un scenariu de referință și arhitectura de rețea pe care se bazează lucrarea și se descriu protocoalele de transfer standardizate. Tot în acest capitol se definește un model analitic de mobilitate cu ajutorul căruia se poate descrie și estima traficul de semnalizare respectiv de transfer în sisteme picocelulare.

### 2.1 Sisteme mobile de bandă largă

#### 2.1.1 *Moduri de implementare*

O serie de autori de lucrări din domeniu pleacă de la premiza simplificată a unei mobilități relativ scăzute a abonaților ce apelează aplicații de bandă largă, necesitând o viteză mare de transmisie a datelor și o rețea capabilă de a opera multimedial. În concluzie, mobilitatea nu este necesară decât pentru o mică parte a aplicațiilor [130]. Această părere nu este însă unanim acceptată în literatura de specialitate [205]. Din contră, ne putem imagina o multitudine de scenarii în care ambele caracteristici sunt în egală măsură necesare: atât capacitatea multimedială cât și mobilitatea deosebit de ridicată, ipoteză confirmată de creșterea vertiginoasă, în ultima perioadă de timp, atât a numărului abonaților la Internet cât și a celor ai rețelelor mobile (vezi și 1.1.3, 1.2.3). Cele două tendințe nu se dezvoltă paralel ci converg, în sensul în care plecând de la rețelele cu servicii specifice din trecut avem de-a face, în momentul de față, din ce în ce mai mult, cu platforme de transport al datelor [100], serviciile ca atare fiind apelate independent de mediul prin care sunt transportate. Acest acces la informații respectiv servicii, nelimitat în cele două dimensiuni spațiu-timp și de calitate constantă, va constitui cerința determinantă pentru rețelele de telecomunicații din viitor. Ele vor trebui să implementeze aceste

platforme de transport de date independente [100]. Serviciile, succesul lor, vor fi determinate, independent de rețeaua sau tehnologia utilizată, de modul lor de realizare și de conținutul ca atare oferit, deci de așa numitul principiu "look-and-feel".

### **2.1.2 Cercetări actuale**

Accentul este pus, în momentul de față, pe realizarea accesului fără fir, prin radio, la serviciile rețelelor de bandă largă. În principiu avem de-a face cu două variante de bază: una pentru sisteme (terminale) fixe și ce-a de-a doua pentru terminale mobile. Soluțiile pentru terminalele fixe sunt implementate cu ajutorul unor sisteme punct-multipunct pe bază de fascicul de microunde (Local Multipoint Distribution/ Communication System LMDS, LMCS) [85]. Sistemele LMDS sunt implementate în Germania în benzile de frecvență de 3,5 GHz respectiv 26 GHz. Ele impun, desigur, existența unei legături directe, vizuale, între emițător și receptor, permițând atingerea unor rate de transmisie destul de ridicate. Neavând implementate funcții de suport al mobilității, ele nu vor fi discutate în cele ce urmează.

Mult mai complicate în ceea ce privește modul de implementare sunt sistemele cu terminale mobile. Și acestea se pot încadra în două categorii mari: sisteme unidirecționale de radiofonie digitală și sisteme bidirecționale de bandă largă. În Germania s-au lansat sistemele digitale de radiofonie Digital Audio Broadcast DAB respectiv televiziune Digital Video Broadcast Terrestrial DVB-T care pun la dispoziție pe lângă emisiunile de radio și televiziune și canale pentru transmisii unilaterale de date [70][72][73]. Ele sunt folosite pentru transmiterea simultană de informații unui număr mare de abonați și pot fi utilizate, în combinație cu alte sisteme mobile, în conceperea de noi arhitecturi de rețele de transport pentru noi servicii multimediale [71]. Nici aceste sisteme nu vor fi luate în considerare în cele ce urmează. În focarul de interes al lucrării de față stau sistemele bidirecționale de bandă largă cu terminale mobile.

Condițiile de implementare a acestora nu sunt dintre cele mai favorabile: conexiunea radio aflată în condiții de propagare permanent schimbătoare, alimentarea de la baterie cu veșnicul compromis ce trebuie realizat între puterea de emisie și durata de viață a bateriilor, interferențele, efectul Doppler, lățimea de

bandă mare necesară pentru o viteză de transmisie ridicată, eficiența spectrală, etc. constituie tot atâtea piedici în calea unei realizări simple și eficiente. În plus, funcțiile de management al mobilității și de transfer al conexiunii necesită extinderi complexe ale infrastructurii existente.

În ultimii zece ani s-au analizat și elaborat pe plan mondial, într-o serie de proiecte de cercetare și standardizare, noi metode de transmisie și comutație pentru sisteme mobile de bandă largă. Dintre acestea se pot enumera proiectele de înglobare a noi domenii de frecvență (de ex. 5 GHz, 17 GHz, 40 GHz, 60 GHz) pentru transmisia cu viteze ridicate a datelor [205]. De asemenea, se pot încadra în această categorie și numeroasele propuneri de extindere sau completare a sistemelor existente, care conțin, pe lângă rețelele locale fără fir, în principal propuneri de extindere a tehnologiei ATM spre domeniul mobil. Cele mai importante proiecte și grupe de cercetare sunt prezentate în tabelul 2.1.

Dintre cercetările europene din domeniu, concentrate în două grupe mari: RACE II și ACTS, pot fi enumerate următoarele proiecte:

- Mobile Broadband System MBS [79][20]
- ATM Wireless Access Communication System AWACS [231][232]
- Wireless Broadband CPN / LAN for Professional and Residential Multimedia MEDIAN [46][47]
- Wireless ATM Network Demonstrator WAND [29][49][76][92][99][101][126][127][147][158][160][161][11][83][95][82][155][156]
- System for Advanced Mobile Broadband Applications SAMBA [54][69][197][198][199]

În RFG și Japonia s-au desfășurat cercetări pe plan național finanțate din fonduri publice :

- ATM mobil [25][50][55][56][94][130][131][251]
- Multimedia Mobile Access Communication MMAC [85] [196] [225] [256]

Următoarele proiecte au fost lansate în cooperare de industrie și diverse universități:

- Olivetti cu RATM [21][185][203][204]

- NEC cu WATMnet și SEBRA [3][209][210][211][260]
- AT&T cu BAHAMA și SWAN [5][55][66][67][124][125][207][233]

**Tabelul 2.1** : Domenii de cercetare și standardizare pentru Mobile ATM

Domeniu	Grup	Proiect
Standardizare	ETSI	BRAN/ HIPERLAN 2/ HIPERACCESS/ HIPERMAN/ HIPERLINK
	IEEE	802.11x, 802.15, 802.16
	ATM-Forum	WATM Working Group
Cercetări din RFG	BMFT	ATMmobil
Cercetări din Japonia		MMAC
Cercetări internaționale	ACTS	AWACS, Magic WAND, MEDIAN, SAMBA
Industrie	RACE II	MBS
	Olivetti	RATM
	NEC	WATMnet, SEBRA
	AT&T	BAHAMA, SWAN

Aceste proiecte se pot încadra, în mare, în trei categorii: sisteme cu terminale fixe, sisteme locale fără fir pentru terminale cu mobilitate redusă și sisteme celulare pentru terminale mobile. Majoritatea proiectelor se axează pe rețele locale de calculatoare fără fir (Wireless LAN, WLAN) bazate pe tehnologia ATM. În cadrul lor și îndeosebi în cadrul programului ACTS al Comunității Europene se cercetează noi spectre de frecvență și se definesc noi tehnici de modulare, codare și acces. De exemplu proiectul MEDIAN a avut ca scop cercetarea și implementarea unei rețele locale fără fir pentru aplicații multimediale de birou. MEDIAN reprezintă de fapt o extindere la tehnologia fără fir a unei rețele ATM și se bazează pe o modulație cu mai multe purtătoare pe interfața radio în banda de 60 GHz, atingându-se viteze de transmisie a datelor de 155 Mbit/s.



Terminalele sunt prevăzute a fi mobile dar un procedeu de transfer al apelului (handover) nu a fost specificat.

Scopul urmărit de proiectul AWACS a fost asemănător, el prevăzând însă, suplimentar, și utilizarea de sisteme de antene inteligente pentru a realiza o filtrare spațială a semnalului. Și în cadrul lui AWACS s-a proiectat un sistem local de comunicație fără fir care a fost mai apoi testat și evaluat. Domeniul de frecvență utilizat a fost banda de 19 GHz iar rata de transmisie de date atinsă a fost de 34 Mbit/s. Raza de acțiune a emițătoarelor este de 50 – 100 m. Rezultatele acestui proiect au contribuit ulterior la elaborarea în cadrul comisiei ETSI RES10/ BRAN a standardului pentru produsul HIPERLAN.

Și în cadrul proiectului Magic Wand s-a proiectat un sistem local, de această dată în benzile de frecvență de 5 GHz și 17 GHz. Sistemul este compus dintr-o unitate de comutație ATM și două emițătoare. El permite un grad restrâns de mobilitate și prin aceasta posibilitatea de a studia, într-o formă simplificată, transferul conexiunii (handover). Celulele ATM sunt transmise în cadrul WAND cu o viteză de 25 Mbit/s în banda de 5GHz și cu până la 50 Mbit/s în banda de 17 GHz. Exemple tipice de utilizare sunt conferințele multimediale de birou sau aplicațiile medicale din clinici.

Ideea unui sistem de bandă largă mobil s-a născut încă de la începutul anilor '90, în cadrul proiectului european RACE II care a introdus așa-numitul Mobil Broadband System MBS. Conceptul MBS prevedea, la acea dată, nu numai viteze ridicate de transmisie a datelor ci și mobilitatea fără nici un fel de restricții a terminalelor. Diverse proiecte ACTS au continuat ideile propuse în cadrul MBS, propunând și studiind diverse tehnologii de implementare a interfeței radio de bandă largă. În proiectul ACTS cu numele de SAMBA s-a studiat pe lângă banda de frecvență de 40 GHz și suportul mobilității cerut de MBS. Scopul urmărit de SAMBA a fost cel de a dezvolta tehnologii de transmisie în banda de 40 GHz care să permită realizarea unui sistem celular de bandă largă cu conexiuni ATM transparente pe interfața radio. Acest sistem celular face posibilă realizarea unei conexiuni cu o viteză de transmisie de până la 34 Mbit/s la o viteză de deplasare a terminalului de până la 50 Km/h. Deasemenea este posibil și un transfer al conexiunii de la o celulă la alta.

Proiectul Ministerului Federal de Cercetare și Tehnologie din R.F.G. denumit ATMmobil a continuat și adâncit aceste preocupări. Sistemul celular studiat în ATMmobil folosește banda de 5 GHz și atinge o rată de transmisie de circa 20 Mbit/s. Puterea maximă de emisie este de 1 W, rezultând diametre ale celulelor de circa 50 m. Viteza maximă permisă de deplasare a terminalelor mobile este în mod corespunzător destul de redusă, de ordinul a câțiva metri pe secundă.

Unul din proiectele cele mai extinse din domeniul WATM a fost cel al firmei NEC. Sistemul conceput de NEC, denumit WATMnet, a fost testat în practică, în cooperare cu concernul suedez de telecomunicații Telia, în vara lui 1999. Proiectul de test, denumit la rândul lui Semi-mobile Broadband Radio Access SEBRA a atins rate de transmisie de 25 Mbit/s în condițiile unei mobilități limitate a utilizatorilor (incinta unor clădiri, campus universitar, locuri publice cu densitate mare de utilizatori – cu alte cuvinte în focare de trafic “hot spots”).

La fel de detaliat a fost și proiectul SWAN al firmei AT&T. Acesta a avut ca obiect de cercetare întreaga arhitectură a unei rețele ATM fără fir publice. În cadrul acestui proiect au fost considerate și analizate toate aspectele, de la conceperea unei tehnologii cu suport al mobilității (handover, rutare, localizare), trecînd prin tehnologiile pentru interfața radio (codare, acces, prelucrare de semnal) până la chestiuni legate de implementare și de concepție a terminalelor mobile. A fost realizat și un prototip de rețea într-o clădire cu birouri. Mărimea tipică a unei celule era de câțiva metri (acoperea în mod tipic un singur birou) iar rata de transmisie avută la dispoziție era de ordinul a sute de Kbit/s. Un concept asemănător, elaborat tot de AT&T și numit BAHAMA a urmărit numai ideea unui LAN bazat pe ATM cu suport al mobilității.

După cum se vede, majoritatea proiectelor enumerate anterior s-a ocupat de extinderea în domeniul radio, fără fir, a modului de transfer asincron ATM. Rezultatele lor au fost introduse direct în noile standarde elaborate, principalele colective de standardizare fiind ATM Forum, ETSI, IEEE.

În domeniul rețelelor locale există deja o soluție de bandă largă (Wireless LAN, WLAN), implementată în diverse produse, care se bazează pe standardul IEEE 802.11 și lucrează în banda de 2,4 GHz (Industrial, Scientific, Medical, ISM), permițând o viteză de transmisie de date de 11 Mbit/s (Unlicensed National

Information Infrastructure, UNII) [106][108]. În cadrul acestui standard s-au dezvoltat de asemenea tehnologii pentru folosirea benzii de frecvență de 5,2 GHz prin care se pot realiza rate de transmisie de până la 54 Mbit/s (802.11a/g) [107]. Această tehnologie a devenit foarte "la modă" în ultimii doi-trei ani, fiind considerată un înlocuitor vrednic, chiar dacă "low-cost", al unor tehnologii de acces mai sofisticate. Limitările datorate perimetrului de acoperire relativ redus vor fi, se pare, înlăturate prin implementarea standardului evoluat IEEE 802.16x, denumit WiMAN (Wireless Metropolitan Area Network) sau WiMAX. Acest standard, care oferă posibilitatea setării unor conexiuni pe distanțe de până la 50 Km, este de la bun început conceput a fi compatibil cu standardul HIPERMAN dezvoltat de ETSI, înlăturând astfel dualitatea existentă în cazul WLAN. În versiunea inițială este încă necesară o legătură vizuală directă între emițător și receptor (Line-Of-Sight, LOS), această condiție dispărînd pentru extensia 802.16a. Viteza de transmisie a datelor ce se poate atinge este de ordinul a 70 Mbit/s. Standardul WiMAX nu este direct compatibil cu WLAN, fiind necesară interconectarea prin intermediul unor routere.

Alte două proiecte demne a fi amintite sunt: High Performance Radio LAN HIPERLAN în cadrul forumului Broadband Radio Access Network BRAN al ETSI și Wireless ATM (WATM) al lui ATM Forum [20][74][75][96][189]. Ca rezultat al strânsei colaborări dintre ETSI (partea de acces prin radio) și ATM Forum (definiție de sistem și tehnologii de comutație și de transfer) a luat naștere un sistem, care combină accesul cu viteză ridicată prin radio cu celelalte caracteristici ale comutației ATM și ale cărui însușiri sunt denumite Capability Set și numerotate succesiv, în funcție de treptele de dezvoltare atinse (WATM Capability Set 1- prima generație). Rezultatele celor mai multe din proiectele enumerate anterior au fost luate în considerare în cadrul acestui proces de standardizare.

HIPERLAN reprezintă o tehnologie de bandă largă pentru rețeaua de acces locală, existând în patru variante diferite: Type 1, Type 2, Type 3 sau HIPERACCESS și Type 4 sau HIPERLINK. HIPERLAN Type 1 se aseamănă foarte mult cu IEEE 802.11, fiind tot un standard pentru o rețea locală Ethernet fără fir, care însă, spre deosebire de 802.11, încă nu a fost implementat la scară largă. HIPERLINK este prevăzut pentru conexiunile ATM fără fir punct-punct iar HIPERACCESS pentru conexiunile punct-multipunct ale unor emițătoare fixe. Sistemele concepute potrivit standardului HIPERLAN Type 2 sunt specifice unei

conexiuni fără fir de tip ATM. Ele lucrează într-o bandă de 23,5 MHz din spectrul de frecvențe de 5,2 GHz. Rata de transmisie netă ce se poate realiza cu o probabilitate de eroare de  $BER=10^{-4}$  este de circa 20 – 25 Mbit/s. Pentru optimizarea ulterioară a performanțelor în ceea ce privește eroarea de bit se utilizează un protocol al stratului de siguranță ce folosește un procedeu ARQ de retransmitere a fișierelor de protocol eronate. Puterea de emisie efectivă în HIPERLAN este de ordinul a 100mW iar diametrul celulelor de ordinul a zeci de metri (în spații închise), până la sute de metri (în câmp liber). Având în vedere dimensiunile foarte reduse ale celulelor putem vorbi, în acest caz, despre o rețea de pico-celule ce poate totuși asigura, în perimetre limitate, o acoperire continuă a acestora [121],[220].

Grupul de lucru WATM al lui ATM Forum a fost înființat la mijlocul anului 1996. Prima versiune a specificației, așa-numitul WATM Capability Set 1, a fost publicată în 1999. Pentru WATM s-au definit două domenii de lucru: dezvoltarea pe mai departe a tehnologiei de propagare prin radio a celulelor ATM și, pe de altă parte, suportul mobilității într-o rețea ATM fixă [52][215]. Grupul de lucru WATM al lui ATM Forum s-a organizat corespunzător pe aceste două domenii:

- acces prin radio (mediu fizic, acces, siguranța conexiunii, managementul resurselor);
- ATM mobil (localizare, rutare, transfer, control de trafic, management de rețea).

Forumul ATM a stabilit în acest scop o colaborare strânsă cu ETSI. Grupul de lucru WATM conlucrează deasemenea cu grupul BRAN al cărui HIPERLAN Type 2 este prevăzut ca și mediul de transport fizic pentru WATM. Toate sarcinile legate de accesul prin radio din cadrul procesului de standardizare au fost preluate de către ETSI. În forumul ATM se tratează și definesc numai funcțiile rețelei WATM fixe cum ar fi funcțiile de semnalizare, comandă și comutație precum și arhitectura rețelei și algoritmi de autentificare respectiv cifrare.

WATM Capability Set 1 își concentrază atenția asupra unei rețele locale cu un număr relativ mic de celule și o mobilitate limitată. Domeniile de utilizare sunt locuri de interes public, sediile unor firme, clădiri de birouri, etc. care au ca numitor comun o concentrație mare a traficului într-un perimetru relativ restrâns, în focare de trafic ("hot spots"). Transferul conexiunilor ATM virtuale este prevăzut a fi realizat,

tocmai pentru a susține mobilitatea, chiar restrânsă, a terminalelor. Dezvoltarea ulterioară a acestor sisteme, ca de exemplu cea din mai înainte amintitul proiect SAMBA merge în direcția unei mobilități fără nici un fel de restricții a abonaților în condițiile utilizării serviciilor de bandă largă. Aceste sisteme constituie fără îndoială viitorul în domeniul telefoniei mobile, fiind denumite de aceea și sisteme din generația a patra (4G). Una din sarcinile cele mai complexe ce se pun în acest context este cea a definirii de tehnologii de transfer a conexiunii ATM de la o stație de bază la alta și de rerutare a acestei conexiuni în rețea [5]. Probabilitatea de avea loc un transfer al conexiunii este destul de mare într-o rețea WATM, dat fiind faptul că avem de-a face cu o rețea de celule mici cu stații de bază cu o putere de emisie relativ redusă. Aceasta înseamnă, pe de o parte un trafic de semnalizare ridicat între nodurile rețelei ATM, iar pe de altă parte un număr mare de transferuri pe conexiune. Deasemenea se mai pune și condiția, general valabilă, de întrunire a parametrilor de calitate negociați pentru o conexiune dată, respectiv de adaptare flexibilă la schimbarea dinamică a acestor parametri. Alte cerințe ce trebuiesc îndeplinite și care au fost amintite anterior se referă la transferul în timp real și la probabilitatea de pierdere a celulelor ATM. Un procedeu de transfer din 4G trebuie să fie în măsură de a recunoaște rapid și cât mai devreme posibil o situație de transfer și de a-l comanda în acest caz fără întârziere, deoarece condițiile de propagare în benzile de frecvențe ce vor fi folosite (5 GHz, 17 GHz, 19 GHz, 40 GHz, 60 GHz) sunt adeseori problematice, mai ales la marginea celulelor.

## 2.2 Subsistemul radio și conceptul zonal

Interfața radio a unui sistem WATM posedă câteva caracteristici ce au o mare influență în procesul de concepere a noi protocoale de comutație. În cadrul proiectelor europene s-au efectuat măsurători în benzile de frecvență de 5 GHz, 17 GHz, 19 GHz, 40 GHz și 60 GHz [205] iar în cadrul proiectului Magic WAND s-au extras din aceste măsurători modele matematice care cuprind atât modelări stohastice ale răspunsului pe impuls al canalului [83][105] cât și modelări ale diverselor stări bazate pe lanțuri Markov precum și modele de eroare folosite în simulări la nivel de celulă ATM extrase la rândul lor din acestea din urmă [155].

### 2.2.1 Interfața radio, protocol

Pentru dezvoltarea în continuare a sistemelor mobile de bandă largă a fost imperios necesară introducerea de noi benzi de frecvențe cu suficiente capacități libere, permițând o cooperare pe plan internațional. Lățimea acestor benzi variază între câteva zeci și câteva sute de MHz [249], în funcție de aplicațiile de bandă largă utilizate respectiv de procedeele de modulație și acces folosite. Ea este necesară atât la emisie cât și la recepție, iar aceste benzi nu stau la dispoziția utilizatorului decât în porțiuni încă neutilizate ale spectrului de frecvență.

Odată cu dezvoltarea sistemelor de telefonie mobilă s-au perfecționat și programele de testare și măsurare a canalelor de telefonie mobilă folosite. Aceste programe au livrat la început numai baza pentru a se putea dezvolta sistemele GSM și UMTS (2G respectiv 3G) [82]. Mai târziu au fost studiate frecvențele ce depășesc banda de 2 GHz, din domeniul undelor milimetrice. În cadrul unor proiecte cum ar fi COST 231, MBS, ACTS sau HIPERLAN a fost colectat un bogat material statistic și s-au elaborat modele matematice pentru domeniile de frecvență de 5 - 60 GHz.

Un rezultat central de o deosebită importanță al acestor campanii de măsură este constatarea că mecanismele de propagare cunoscute din domeniile de frecvență de 900 MHz respectiv 1800 MHz utilizate în rețelele GSM, împreună cu modelele de pierderi pe calea de propagare, pot fi preluate fără nici un fel de modificări [82]. Caracteristica esențială a canalelor din domeniul undelor milimetrice este atenuarea mărită în spațiul de propagare liber și o atenuare de două până la zece ori mai mare în spații închise. Această atenuare de material ridicată conduce la oscilații de amplitudine mai mare și mai lente (fading lent), ce iau naștere, de exemplu, atunci când între emițător și receptor se interpune un corp uman sau obiecte de mobilă care blochează legătura vizuală directă. Propagarea multiplă conduce, din cauza lungimii de undă foarte mici de ordinul milimetrilor, la apariția unor oscilații rapide (fading rapid).

Pentru aplicații din sisteme WATM au fost măsurate, în cadrul proiectului german ATMmobil, canale din domeniul de 5 GHz (HIPERLAN-Band) [121][122]. Măsurătorile au luat în considerare situații din exteriorul și din interiorul unor clădiri. Caracteristicile principale rezultate din acestea sunt prezentate în tabelul 2.2.



**Tabelul 2.2:** Parametri măsurați ai canalelor WATM în banda de 5 Ghz [121][122]

Parametru	Domeniu	Valoare tipică	Valoare maximă
Raza de acțiune maximă	Indoor, NLOS	10 m – 60 m	
	Outdoor, LOS	200 m – 600 m	
	Outdoor, NLOS	30 m – 150 m	
Atenuarea pe calea de propagare	Toate domeniile	40 dB/ decadă	100 dB/ decadă
Diferența de amplitudine la tranziția LOS–NLOS	Toate domeniile	15 dB – 30 dB	50 dB
Panta la tranziția LOS–NLOS	Indoor	3 dB/ m – 10dB/ m	
	Outdoor	1 dB/ m – 30 dB/ m	

Acoperirea maximă și prin aceasta implicit mărimea celulei depinde în mare măsură de existența unui contact vizual (Line-of-Sight, LOS) cu emițătorul. Acest contact vizual este însă imposibil de a fi realizat în interiorul unor clădiri (Non-Line-of Sight, NLOS). În mod corespunzător avem de-a face în acest caz cu penetrații de ordinul a 10-60 m. Această acoperire maximă crește la 200 - 600 m din momentul în care avem, în afara clădirilor, contact vizual cu stația de bază, altfel ea este și aici de numai 30 – 150 m. Atenuările pe calea de propagare sunt în medie de circa 40 dB/ decadă, pot însă atinge valori de până la 100 dB/ decadă. Situațiile extreme se întâlnesc la tranziția LOS – NLOS. Aici putem avea, pe distanțe foarte scurte, diferențe de amplitudine de tipic 15 – 30 dB mergând până la maxim 50 dB. Aceste tranziții sunt efectuate cu o pantă de 3 - 10 dB/m în interiorul clădirilor și 1- 30 dB/m în afara lor.

Pe lângă aceste condiții de propagare deosebit de dificile există în sistemele WATM cerințe cu totul noi în ceea ce privește protocoalele de acces și transmisie. Transmisia trebuie realizată cu o rată de transmisie de date ridicată și cu o rată de eroare respectiv o întârziere de transmisie cât mai scăzută. Din aceste motive, măsurile de corecție a erorii implementate în procedeul de codare al canalului nu mai sunt suficiente, fiind necesară și utilizarea unui protocol de siguranță

performant. Acest protocol, împreună cu protocolul de acces, trebuie să fie în măsură de a realiza un transport transparent al celulelor de tip ATM pe interfața radio, respectând în același timp cerințele QoS ale claselor de trafic ATM (vezi tabelul 1.1) [211]. Pentru a exploata în mod eficient resursele din domeniul frecvențelor este în același timp necesară implementarea proprietății celulelor ATM de a se multiplexa statistic în fluxuri ATM, în tot sistemul distribuit de emițătoare mobile și fixe. Aceasta necesită un grad înalt de coordonare și sincronizare, asigurând folosirea resurselor spectrale ale unei celule de către toate terminalele mobile și adaptând dinamic aceste resurse la cerințele momentane ale diverselor conexiuni.

Există deja o serie întreagă de propuneri de realizare a interfeței radio WATM [11][49][53][137][154][156][196][198][199]. Tehnologiile de acces multiplu cu multiplexare de cod (CDMA) nu sunt folosite datorită cerințelor foarte mari de lățime de bandă ale acestora pentru vitezele ridicate de transmisie de date preconizate respectiv dorite a fi realizate. În locul acestora se folosesc deseori metode de multiplexare în timp, care permit o alocare dinamică, potrivit cerințelor de moment, a resurselor la nivelul stației de bază. În acest context poate fi luată în considerare asimetria conexiunilor de trafic precum și cerințele fluctuante în timp ale serviciilor cu viteză de transmisie variabilă, în ceea ce privește capacitățile necesare. Transmisia se efectuează în pachete de date de lungime variabilă ce pot conține una sau mai multe celule ATM. Măsurile de codare sau interleaving utilizate trebuie să se limiteze la lungimea efectivă a unui astfel de pachet [130]. Pentru a efectua o corecție de eroare anticipativă se utilizează de exemplu coduri performante de tip Solomon-Reed sau Block-Codes a căror precizie se situează în domeniul  $10^{-3}$  -  $10^{-6}$  [130]. Erorile de transmisie ce nu pot fi corectate de aceste coduri pot fi detectate și corectate ulterior cu ajutorul unui protocol adaptiv, ce ia în considerare cerințele de calitate QoS ale fiecărei clase ATM în parte. Frecvența cumulată de apariție a erorii, atinsă în proiectele pilot și calculată luând în considerare aplicarea acestor procedee, este comparabilă celei întâlnite în rețelele fixe [130]. Ca procedee de modulare s-au implementat cu succes până în momentul de față în proiectele pilot WATM atât procedee cu purtătoare unică, performante, ca de exemplu Orthogonal Quadrature Phase Shift Keying OQPSK sau Offset Quadrature Amplitude



Modulation OQAM) cât și sisteme multipurtătoare (Orthogonal Frequency Division Multiplex OFDM) [94][130][205].

Pentru a putea analiza caracteristicile statice ale unui canal radio WATM și a defini un model de eroare de canal, s-au definit parametri cum ar fi: probabilitatea de tranziție de la un canal la altul sau de la o stare la alta, pierderea de propagare și frecvența de pierdere a celulelor ce rezultă din aceasta. Acești parametri caracterizează comportamentul statistic staționar al canalului radio. În completare sunt definite de cele mai multe ori scenarii deosebite, ce descriu situații ipotetice bazate pe supoziții desprinse din realitate și care contribuie la analiza unor interdependențe cauzale. Aceste scenarii iau în considerare situații de mediu ca de exemplu în cazul scenariului "indoor / outdoor" sau al celui "LOS / NLOS" și se iau în considerare și la măsurarea canalului radio WATM [239], nefiind însă adecvate utilizării în analiza protocoalelor de semnalizare și comandă .

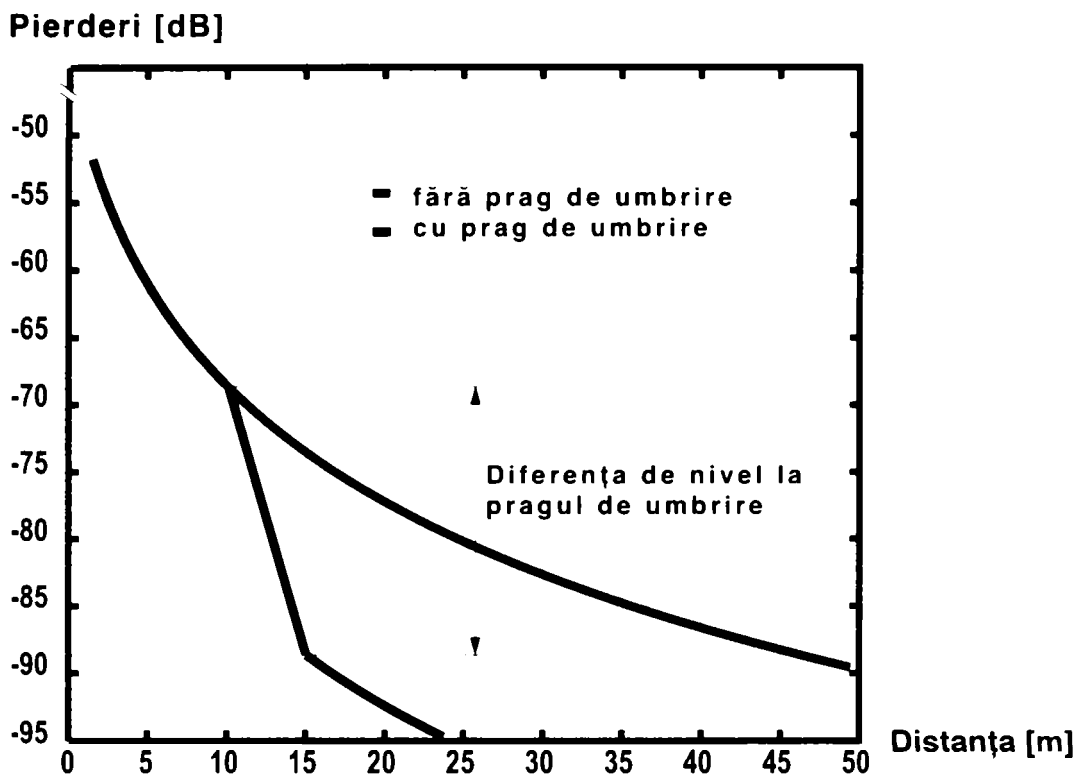
Scenariile ce ajută la analiza și evaluarea corectă a protocoalelor trebuie să fie în măsură de a lua în considerare și porțiuni ale acestui protocol, tocmai pentru a putea sesiza efectele lui. Ele combină, pentru anumite situații tipice, caracteristicile sistemului analizat, modelarea de canal și parametrii de mediu înconjurător. Pentru aceste situații tipice s-au definit protocoale de comandă pentru care este necesară o analiză a funcționalității, corectitudinii, stabilității și performanței acestora. Logica de protocol definită și verificată formal într-un stadiu anterior poate fi astfel reunită cu cerințele și parametrii de eroare ai canalului radio pentru a obține un sistem modelat în întregime, ce poate fi mai apoi analizat. Pentru definirea acestor scenarii trebuie identificate situațiile tipice și parametrii ce le caracterizează.

În cazul situațiilor de transfer al conexiunii este necesară în primul rând modelarea situației de moment a terminalului aflat între cele două emițătoare. Stația de bază activă la un moment dat, denumită și cea "veche", este cea prin care este stabilită în acel moment legătura radio, planurile de transport ATM și se transmit date utile. Stația de bază "nouă" este cea care poate fi luată în considerare pentru un eventual transfer, bazat pe condițiile momentane de propagare radio. Pe ea se vor comuta, în cazul unui transfer, planurile de transport ATM. Un scenariu de transfer ATM corect definit trebuie să ia în considerare ambele căi de transmisie, atât spre stația de bază "veche" cât și spre cea "nouă".

Caracteristica radio poate cea mai pregnantă a unei conexiuni WATM este propagarea quasi-optică a semnalului. Acesta înseamnă însă și o tranziție foarte abruptă din situația Line-of-Sight(LOS) în situația Non-Line-of-Sight(NLOS). Bugetul legăturii radio a unei celule WATM ("Linkbudget") va trebui să se orienteze tot timpul asupra acestor două situații: legătură optică existentă sau inexistentă. Probabil că, în practică, vor fi considerate ca și candidați potențiali numai acele celule cu care sunt sau în contact vizual direct sau al căror perimetru este ales a fi corespunzător de mic. În cazul NLOS se folosesc reflexia și propagarea prin dispersie pe mai multe căi pentru a stabili o conexiune cu stația de bază chiar și fără a avea o legătură vizuală directă. Din păcate această posibilitate este destul de limitată, luând în considerare domeniile de frecvență foarte ridicate prevăzute a fi folosite pentru WATM (vezi și tabelul 2.2).

Pierderea legăturii vizuale directe și scăderea drastică a amplitudinii semnalului rezultată din aceasta reprezintă o situație dificilă de transfer pentru terminalul mobil. Protocolul de semnalizare trebuie să fie în măsură, în aceste situații, de a transfera planul de conexiune ATM spre noua stație de bază chiar și la pierderea abruptă a legăturii prin radio, pentru a evita în acest fel o cădere totală a conexiunii. Informațiile de semnalizare necesare în acest scop sunt schimbate prin noua legătură radio între terminal și stația de bază "nouă" (forward handover).

Tranziția LOS–NLOS reprezintă deci un scenariu important pentru sistemele WATM. Această tranziție se poate descrie cu ajutorul unui model al unui prag de umbrire ce poate fi poziționat la o distanță variabilă față de emițător. Pierderea pe calea de propagare crește, la trecerea peste acest prag, cu o valoare ce depinde linear de distanța dintre terminalul mobil și stația de bază (figura 2.1). Panta acestei tranziții LOS-NLOS precum și diferența maximă de amplitudine a semnalului la nivelul pragului de umbrire sunt parametrii ce descriu această componentă suplimentară de pierdere, ce se adaugă la pierderile normale pe calea de propagare. Acest prag de propagare ni-l putem imagina ca fiind în realitate colțul unei străzi, terminalul mobil pierzând contactul vizual cu stația de bază la trecerea de colț.

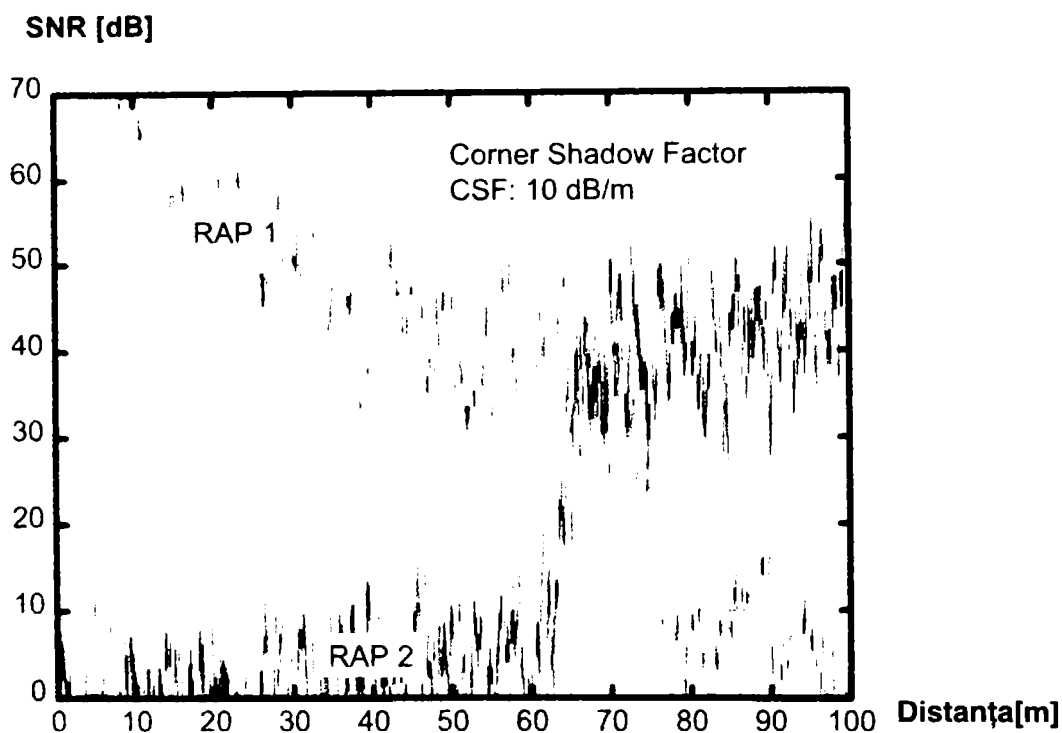


**Figura 2.1:** Pierderi de propagare la nivelul pragului de umbrire [239]

De aceea și panta tranziției descrisă anterior este denumită în mod plastic “Corner Shadow Factor CSF”. Pentru acest prag de umbrire s-au definit, în afară de CSF, poziția relativă a pragului și diferența de amplitudine a semnalului, și alți parametri cum ar fi poziția emițătoarelor, modelul normal de calcul al pierderii pe calea de propagare și modelul de calcul al fadingului rapid. O situație tipică pentru acest scenariu este reprezentată în figura 2.2 [239].

Cele două curbe de semnal, create cu un model pentru frecvența de 5,2 GHz, reprezintă amplitudinea semnalului recepționat de către un terminal mobil ce se îndepărtează pe un parcurs linear de o stație de bază (Radio Acces Point-RAP) și se apropie în același timp de un alt RAP. Calitatea semnalului se poate descrie ca un fiind un raport semnal / zgomot (Signal-to-Noise Ratio - SNR) și a fost înregistrată pe tot traseul parcurs de terminalul mobil. Ambele semnale sunt caracterizate de un fading rapid, care este normal pentru acest domeniu de frecvențe și de o pierdere pe calea de propagare dependentă de distanța până la emițător, care este în acest caz de circa 30 dB/decadă. Un prag de umbrire se află poziționat la o distanță de 60 m până la 75 m de RAP 1, acesta determinând o deteriorare bruscă a SNR pentru RAP 1 și o îmbunătățire rapidă a SNR pentru RAP

2. Factorul CSF a fost evaluat la 10 dB/m iar diferența maximă de amplitudine a semnalului la nivelul pragului este de 30 dB. În această situație se constată după foarte scurt timp o cădere a conexiunii cu RAP 1 în timp ce RAP 2 devine brusc, la scurt timp înainte, "vizibilă" pentru terminalul mobil. Considerînd o diagramă tipică a dependenței frecvenței de eroare de celule de SNR, ce a fost înregistrată experimental pentru stratul fizic al modelului WAND [155][239] și care este reprezentată în figura 2.3 se pot determina efectele pe care pragul de umbrire le are asupra conexiunii: dacă frecvența de eroare de celule este pentru conexiunea spre RAP 1 de circa  $10^{-6}$ , ea crește după prag dramatic pînă la circa 1, făcînd conexiunea neutilizabilă, pe cînd cea de-a doua conexiune are deja o frecvență de eroare de celule de minimum  $10^{-7}$ .

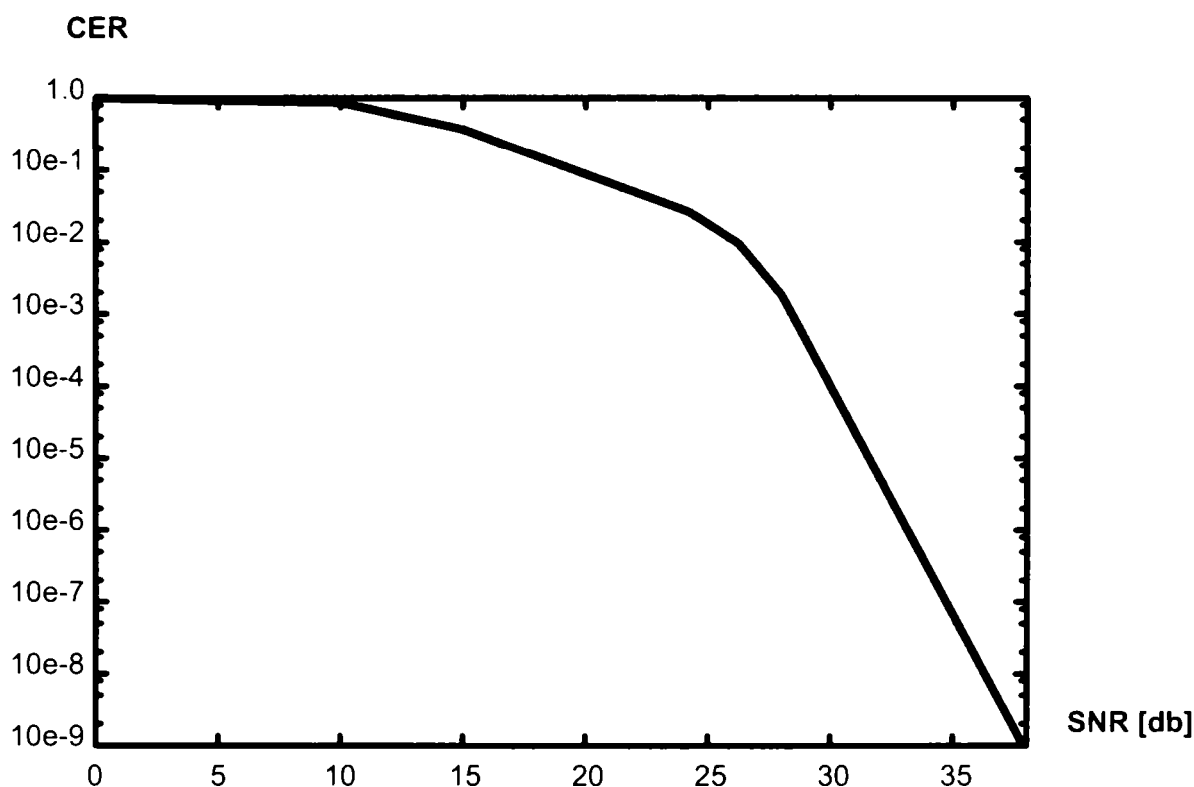


**Figura 2.2:** Semnale radio cu prag de umbrire abrupt [239]

După cum am amintit mai înainte, dacă tranziția semnalului de la o celulă la alta este foarte abruptă, atunci transferul trebuie practic controlat și dus la bun sfârșit de către celula "nouă". În cazurile mai puțin "extreme" ne putem imagina și alte scenarii, cum ar fi:

- transferul conexiunii ATM către stația de bază "nouă" este pregătit și executat prin legătura "veche" care există în continuare (backward handover)

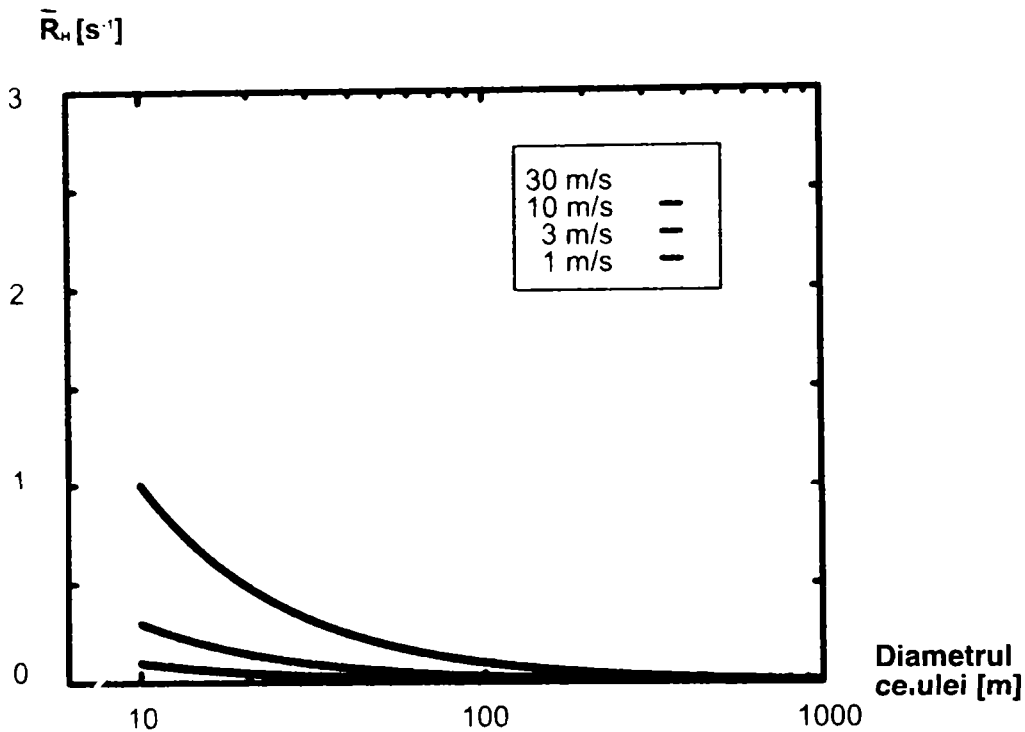
- se stabilește, în paralel cu conexiunea “veche”, în paralel, o nouă conexiune către o stație de bază “nouă” căruia trebuie să-i fie predată conexiunea. Acest procedeu implică existența și implicit gestionarea în paralel, pentru o scurtă perioadă de timp, a două conexiuni, între care se poate comuta în mod dinamic, în funcție de cerințele de calitate momentane (soft handover).



**Figura 2.3:** Dependența frecvenței de eroare de celule de SNR

Scenariul de canal radio determină care metodă să fie utilizată, în funcție de poziția relativă a terminalului față de cele două emițătoare și de modelul de pierderi de propagare și de fading. Dacă ambele emițătoare sunt recepționate la fel de bine, atunci se poate executa un “backward” sau und “soft handover”. Acest scenariu definește și cerințele cu privire la timing-ul protocoalelor de handover. O estimare simplificată ce consideră dimensiunea medie a celulei precum și viteza medie de deplasare a terminalului mobil ne oferă ca rezultat o valoare maximă a ratei medii de handover per terminal mobil (figura 2.4). Se presupune în această estimare că avem de-a face cu o mișcare lineară a terminalului. Valoarea mediană și variația ratei de handover sunt, după cum se știe, dependente de mobilitatea terminalului și oscilează în limite foarte largi. O mișcare locală, browniană, în interiorul unei celule,

conduce la rate de handover foarte scăzute în timp ce același comportament de mobilitate la granița dintre două celule poate conduce la o rată de handover mult mai ridicată. În concluzie se poate constata că intervalele de timp dintre două transferuri succesive în sistemele picocelulare sunt foarte mici, de ordinul a 1–10 secunde.



**Figura 2.4:** Rata medie de handover per terminal mobil în funcție de diametrul mediu al unei celule

Un alt parametru important este așa-numita fereastră de transfer (handover-window) definită ca fiind intervalul de timp ce s-a scurs din momentul trecerii semnalului sub nivelul de prag de detectare a unei situații de transfer până în momentul atingerii nivelului de semnal pentru care trebuie efectuat acel transfer. Diferența de amplitudine a semnalului între aceste două valori de prag se consideră a fi de 5 dB [258]. Se poate calcula acum fereastra de transfer, ținând cont de pierderile pe calea de propagare precum și de CSF. În figura 2.5 este reprezentată dependența mărimii ferestrei de transfer funcție de CSF pentru valori tipice ale parametrilor amintiți anterior (pierderile pe calea de propagare 40 dB/decadă, mărimea celulei 50 m). Se poate observa că, dacă apare un prag de umbră imediat

după detectarea unei situații de transfer, atunci timpul avut la dispoziție pentru desfășurarea cu succes a acestui transfer se reduce la câteva milisecunde.

Fereastra de transfer [ms]

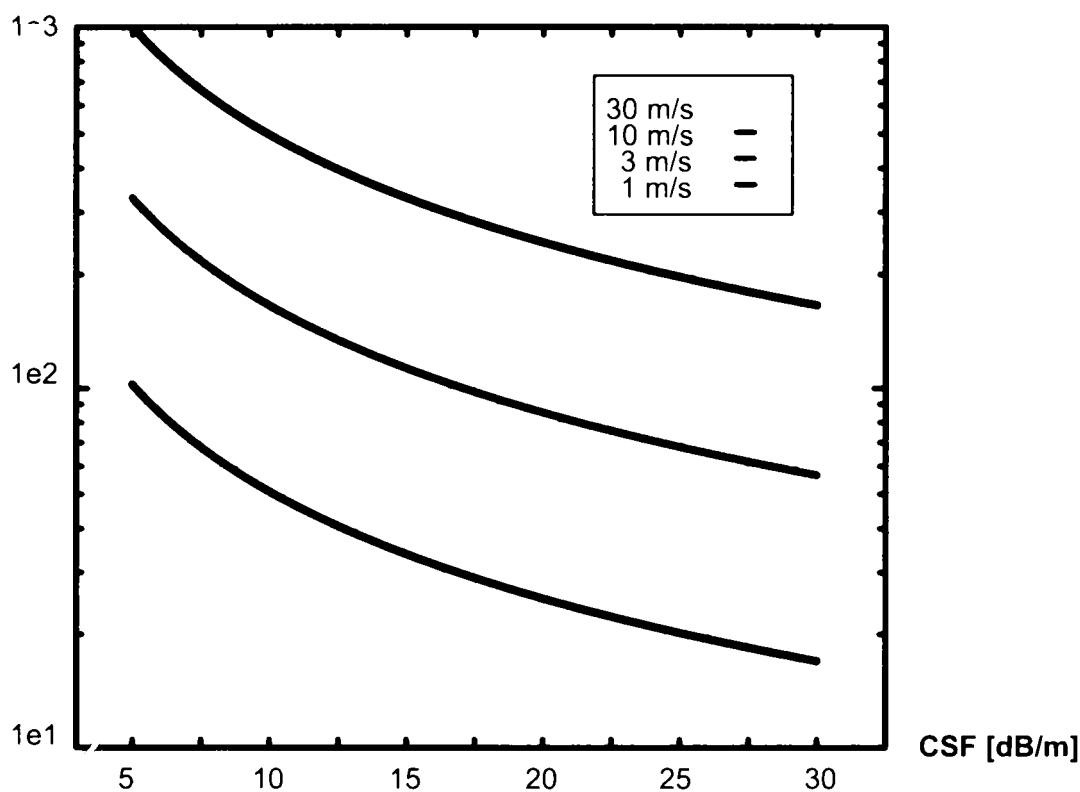


Figura 2.5: Fereastra de transfer în funcție de CSF și viteza medie

### 2.2.2 Conceptul zonal

Dat fiind raza de propagare redusă, rețeaua radio a unui sistem celular WATM este compusă din celule foarte mici. Pentru a păstra nomenclatura actuală vorbim în acest caz de nano-celule sau pico-celule. Fiecare din aceste celule posedă, ca și unitate centrală, o stație de bază. Denumirea aleasă în cele ce urmează, tocmai pentru a descrie mai bine stațiile de bază WATM și a le deosebi de cele din rețelele (macro)celulare clasice este cea de “Radio Access Point (RAP)”. Un astfel de RAP preia funcția de coordonare a resurselor radio din perimetrul său de emisie și realizează conexiunea spre și dinspre infrastructura unei rețele WATM.

Această infrastructură se compune în cazul unui sistem WATM în principal dintr-o rețea ATM fixă ale cărei caracteristici de comutare au fost extinse pentru a cuprinde și cele specifice mobilității (vezi și capitolul 1.3). Pentru acest suport al mobilității au fost necesare extinderi ale arhitecturii de sistem și ale protocoalelor de

semnalizare ale nodurilor de comutație ATM. Aceste noduri cu posibilități extinse vor fi denumite în cele ce urmează "Mobility Supporting ATM Switch (MAS)". În literatura de specialitate mai poate fi întâlnit și termenul de "End-System Mobility Supporting ATM Switch (EMAS)".

Aceste MAS sunt necesare cel puțin la marginile rețelei fixe ATM. Ele stabilesc legătura dintre rețeaua de acces prin radio a RAP și rețeaua ATM normală, fixă. Rolul lor constă și în a coordona resursele și a controla conexiunile spre și dintre RAP-uri și în special de a comanda și controla transferul dintre RAP-urile conectate la ele. Un astfel de nod de comutație ATM cu suport al mobilității MAS formează împreună cu punctele de acces prin radio conectate la el o așa-numită zonă elementară ATM. O astfel de zonă poate să fie realizată într-o rețea privată de exemplu în interiorul unei clădiri cu birouri sau în perimetrul unei fabrici sau poate fi creată ca o insulă în interiorul unei rețele publice pentru a oferi servicii deosebite abonaților publici aflați în interiorul acestei insule (de exemplu pe un aeroport). O astfel de zonă posedă întotdeauna numai un singur nod MAS. O posibilă soluție în acest sens a fost elaborată în cadrul proiectului ACTS denumit "Magic WAND" [158].

Mai multe zone învecinate pot forma o rețea de tip WATM, care trebuie să ofere utilizatorului pe lângă acoperirea în teritoriu dorită și continuitatea conexiunilor și serviciilor apelate. Pentru aceasta este necesară găsirea unui mecanism de transfer al conexiunii ATM la trecerea dintr-o zonă în alta, care impune la rândul său definirea unei arhitecturi de sistem corespunzătoare, a unor funcții de comutare specifice mobilității precum și a unor protocoale de semnalizare în rețeaua ATM fixă. Aceste cerințe vor fi explicate în detaliu în capitolul următor.

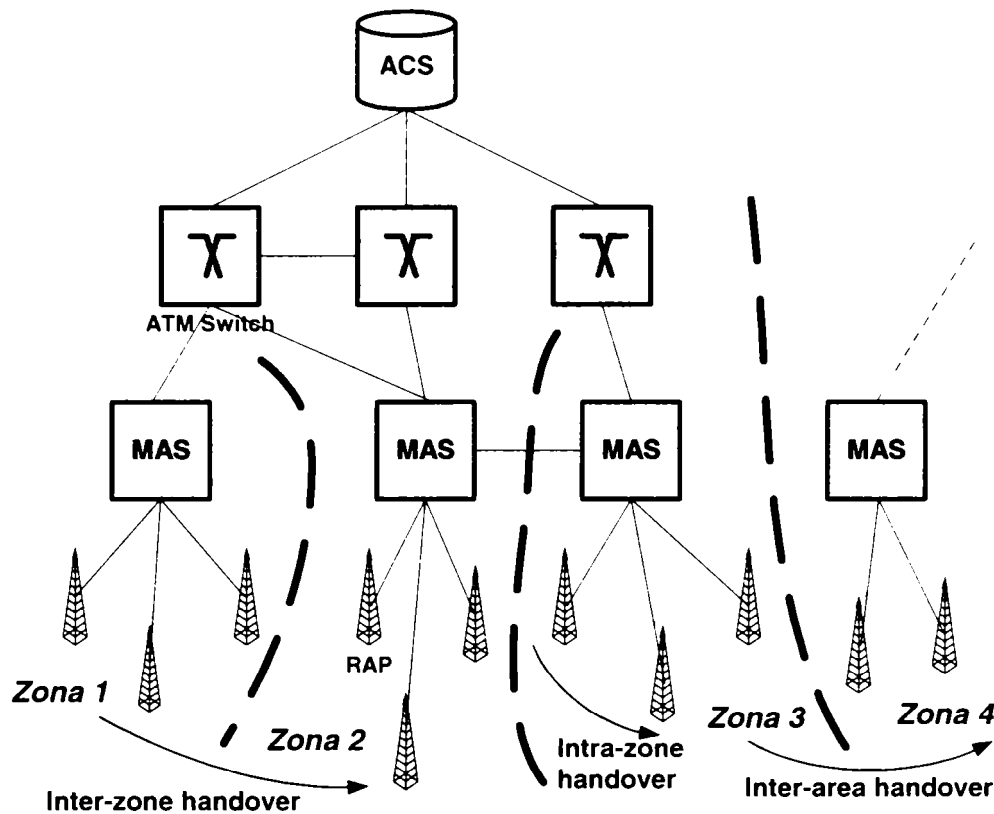
## **2.3 Subsistemul de rețea**

### ***2.3.1 Scenarii de referință și arhitecturi de rețea***

Un scenariu de referință tipic pentru WATM se bazează pe o rețea de acces prin radio de bandă largă ce oferă abonatului o mobilitate nelimitată într-un perimetru de acoperire dat și îi facilitează accesul neîntrerupt la serviciile oferite în această rețea. Accesul radio se realizează cu mai înainte amintitele emițătoare



nano- sau picocelulare denumite și Radio Acces Point RAP. La marginea rețelei ATM fixe sunt amplasate noduri speciale ATM de comutație denumite MAS, cu rolul de a realiza tranziția spre rețeaua de acces și posedând funcții suplimentare de suport al mobilității (figura 2.6).



**Figura 2.6:** Rețea ATM cu acces prin radio, topologia rețelei

În interiorul zonelor elementare formate de stațiile de bază RAP conectate la un anumit MAS, toate funcțiile specifice mobilității, cum ar fi: actualizarea informației de locație, funcția de căutare și transferul local, sunt îndeplinite de către MAS. Transferul între celulele aceleiași zone este denumit "transfer intrazonal" (Intrazone Handover), fiind comandat și controlat de către MAS. O formă specifică a acestuia este "transferul intracelular" (Intracell Handover), în care RAP-ul rămâne neschimbat (RAP-ul vechi este în același timp cel nou). Acest caz este întâlnit atunci când RAP-ul posedă mai multe transceivere, având deci mai multe frecvențe purtătoare sau când celula este subdivizată în mai multe sectoare. Schimbarea frecvenței purtătoare este considerată a fi un transfer, ce poate fi controlat în mod autonom de către RAP.

Zone învecinate aparținând unor MAS diferite pot asigura acoperirea radio integrală a unui perimetru dat în care terminalele se pot deplasa fără restricții. Acest roaming între diverse zone trebuie implementat și asigurat prin crearea de funcții noi de suport al mobilității în rețeaua ATM fixă. Pentru a nu fi necesară implementarea acestor funcții în toate nodurile aparținând rețelei, se introduce în această lucrare o instanță ierarhică superioară ce asigură controlul mobilității în perimetrul respectiv, denumită "Area Communication Server"(ACS). Un ACS este răspunzător de funcțiile de comandă necesare la eventuala deplasare a terminalului peste granițele zonale din interiorul perimetrului său de acoperire radio. El exercită în special controlul și coordonarea predării sau preluării conexiunilor în cazul unui transfer ce are loc între două MAS-uri (transfer interzonal).

Pentru a asigura succesul unui transfer între două zone învecinate este neapărat necesară și o rerutare a segmentului de conexiune aflat în rețeaua ATM fixă, în scopul conectării la noul MAS. Această rerutare se realizează prin funcții de protocol implementate atât în cele două MAS participante la transfer cât și în ACS-ul corespunzător. El îndeplinește un dublu rol: ancoră pentru conexiunile ATM precum și element de tranziție de la rețeaua ATM subordonată lui, cu suport al mobilității, la cealaltă parte, fixă, a rețelei ATM. Este important de subliniat faptul că ACS rămâne unicul nod de rețea ATM cu suport al mobilității, nemaifiind necesară implementarea acestui suport în alte noduri din rețea.

Arhitectura de sistem prezentată în figura 2.6 permite extinderea treptată a unei rețele ATM fixe prin adăugarea unor insule mobile. În acest scop se adaugă mai întâi, în locațiile în care există o cerință de servicii WATM, zone singulare în jurul unui nod MAS. Prin aceasta se asigură de la bun început mobilitatea terminalelor și un transfer al conexiunii între celulele aparținând unei asemenea zone. În momentul în care numărul acestor zone crește foarte mult, pe măsură ce crește numărul de abonați ce utilizează serviciile oferite în aceste zone, se adaugă un nod ACS pentru a asigura continuitatea acestor servicii și la traversarea granițelor zonale.

În mod similar se poate realiza accesul de bandă largă la serviciile din rețelele UMTS. Serviciile purtătoare de bandă largă ale insulelor WATM sunt utilizate, în acest caz, pentru a oferi teleserviciile rețelei de telefonie mobilă într-o calitate nouă, mult superioară celei de până acum. Terminalele WATM pot oferi în

locații dinainte stabilite o viteză mult mai mare de transmisie de date, o rezoluție mai ridicată a unor imagini, etc.

### **2.3.2 Funcții ale rețelei de suport al mobilității**

Componentele esențiale ce stau la baza oricărui procedeu nou de comutație pentru WATM sunt transferul și rerutarea pentru abonații mobili. Ele exercită influența cea mai mare asupra fluxului de date utile. Cerințele ce se pun asupra acestor componente sunt în mod corespunzător deosebit de mari.

Toate celelalte aspecte ale mobilității într-o rețea ATM: localizare, actualizarea informației de locație, paging, roaming pot fi realizate prin mecanisme și protocoale corespunzătoare de semnalizare și nu vor fi luate în considerare în cele ce urmează.

Terminalele mobile WATM aflate în continuă mișcare au nevoie de o infrastructură capabilă de a redirecționa legături virtuale către punctul de acces al rețelei utilizat în momentul respectiv. Această infrastructură implică un control al transferului pe interfața radio prin funcții de semnalizare precum și mecanisme de gestiune a conexiunii și calității acesteia. Acestea au rolul de a rezerva respectiv aloca resurse în funcție de cerințele de calitate ale conexiunilor și sunt responsabile de respectarea ordinii corecte de transmitere a celulelor și de încadrarea, în ceea ce privește frecvența de pierdere a celulelor, în parametrii de calitate negociați în momentul setării acestei conexiuni (vezi și tabelul 1.1). Infrastructura mai implică de la caz la caz și alegerea unei noi căi de transmisie prin rețeaua fixă (rerutare, rerouting), dacă punctul de acces la rețea actual precum și cel viitor fac necesară o comutare prin noduri diferite ale rețelei.

În cazul unui handover intrazonal, rerutarea se face pe plan local, de către MAS-ul corespunzător, care comută conexiunea unui terminal mobil de pe portul RAP-ului vechi pe un port aparținând RAP-ului nou, prin schimbarea tabelelor sale de comutație. Singura porțiune din conexiune afectată de acest transfer este cea dintre terminal, RAP și MAS. În cazul unui transfer interzonal însă, trebuie căutată și aleasă o cale nouă prin rețeaua ATM fixă, cale care să realizeze conexiunea către MAS-ul nou. Analog cazului anterior, intrazonal, este necesar a fi realeasă noua cale numai pentru o ultimă porțiune a conexiunii, și anume cea plecând de la un

punct de încrucișare comun până la terminalul mobil. Punctul de încrucișare este denumit "Cross Over Switch (COS)", deoarece în el se realizează de fapt comutarea porțiunii de conexiune ATM între calea veche și cea nouă.

Nodul de comutație COS poate fi determinat în mod dinamic în momentul în care se execută transferul, el fiind acel nod de comutație ATM cu suport al mobilității pornind de la care cele două rute, veche și nouă, diverg [229][230]. În cadrul procesului de determinare a COS-ului adecvat pot fi utilizați diverși algoritmi, ca de exemplu un algoritm de determinare a căii celei mai scurte de urmat. Indiferent de algoritm, utilizarea acestuia implică pe de o parte implementarea în întreaga rețea ATM de noi funcții și protocoale de semnalizare pentru a facilita căutarea dinamică a COS-ului, iar pe de altă parte extinderea tuturor nodurilor rețelei pentru a deveni capabile de a acorda suport mobilității, deoarece, ca urmare a metodei de căutare dinamică, fiecare nod este un candidat potențial. Numărul de noduri de comutație ce ar fi luate în considerare la rerutare și deci ar avea nevoie de capacități extinse, s-ar putea restrânge cu ajutorul unor măsuri suplimentare ca de exemplu cele din domeniul adaptării topologiei rețelei sau a parametrizării algoritmilor folosiți. Aceste măsuri ar restrânge însă implicit și gradele de libertate în ceea ce privește alegerea căii noi și deci dinamicitatea procedurii ca atare.

Determinarea COS-ului poate fi realizată nu numai dinamic ci și prin măsuri de adaptare a infrastructurii, prin care se stabilesc de la bun început nodurile de rețea ce îndeplinesc această funcție de comutare. Ele constituie ancore pentru conexiunile ATM, rerutarea funcționând deci numai între punctul de ancorare desemnat și MAS-ul participant. Pentru această porțiune a conexiunii între MAS și COS pot exista însă mai multe căi, la alegere, care în cazul unui procedeu static nu pot fi luate în considerare. Această variantă a COS-ului static este de fapt cazul ACS-ului introdus în arhitectura rețelei în paragraful 2.3.1. COS-ul static este cunoscut din momentul setării conexiunii și nu se mai schimbă pe toată durata acestei conexiuni. Varianta poate fi considerată semistatică deoarece nu mai este necesară o căutare a unui COS adecvat, ceea ce are ca urmare o reducere a complexității mecanismului de transfer și ca beneficiu o efectuare mai rapidă a handover-ului.

După găsirea unei noi căi pentru segmentul de conexiune avut în vedere, se trece la efectuarea transferului propriu-zis. Acesta se compune din mai multe faze:

comutarea fluxului util de date al conexiunii ATM virtuale pe ruta nouă, deactivarea segmentului vechi al conexiunii, eliberarea resurselor radio "vechi" la nivel de stație de bază concomitent cu stabilirea unei legături radio cu noua stație de bază precum și activarea segmentului rerutat pe noua cale. Pentru toate aceste faze sunt necesare funcții de gestiune, rezervare și ocupare de resurse pe interfața radio la fel ca și funcții de semnalizare și comandă pentru controlul desfășurării transferului și al calității serviciilor QoS din rețea. În funcție de resursele disponibile, în anumite cazuri, se dovedește a fi utilă renegocierea vectorului de calitate al conexiunilor afectate de lipsa de resurse (QoS-Renegociation, [211]).

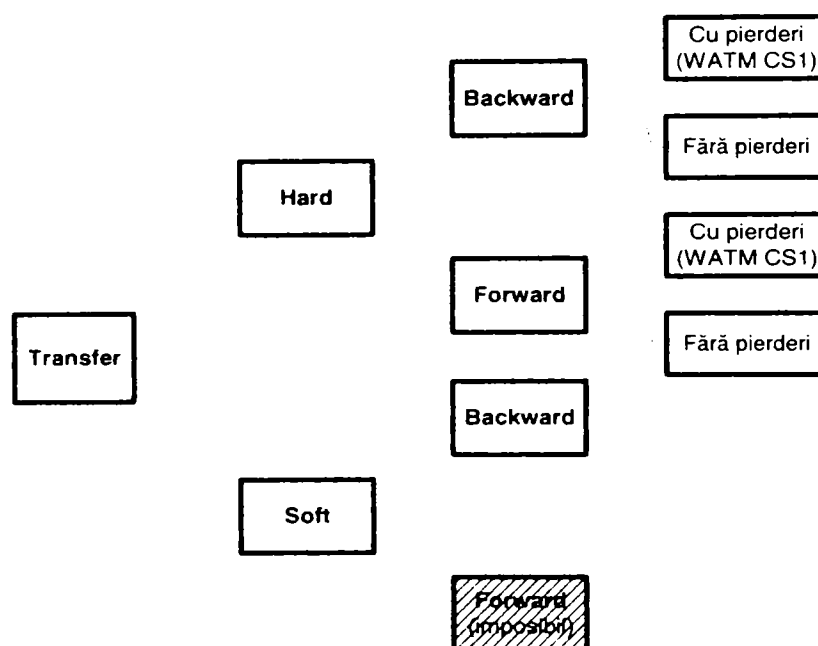
Pe baza pe numărului de conexiuni radio simultan active, se poate face, în general, în cazul transferului în rețelele de telefonie mobilă, distincția între un transfer hard și un transfer soft (Hard Handover, Soft Handover).

La transferul hard există la un moment dat în timp numai o singură legătură prin radio activă cu o stație de bază. În timpul executării operației de transfer se comută, la un moment dat bine definit, de pe legătura radio cu stația de bază veche pe legătura radio cu stația de bază nouă. Considerînd momentul comutării putem distinge în continuare alte categorii de transferuri hard. Astfel se poate vorbi de un transfer înapoi (backward handover), atunci când transferul este inițiat de stația de bază "veche", care îl controlează până la terminarea procesului de rerutare. Deoarece în cazul acestui transfer se organizează mai întâi procedura ca atare iar apoi este căutată calea nouă prin rețea, înainte de comutarea legăturii radio, se poate vorbi de o soluție de tip make-break. Soluția contrară, cea în care mai întâi se comută legătura radio ca după aceea să se reruteze conexiunea prin rețea este denumită prin analogie break-make sau transfer înainte. Comanda integrală a procesului de transfer și schimbul de date de semnalizare necesare se face în acest caz, din momentul comutării, numai prin noua stație de bază.

Dezavantajul transferului hard este întreruperea conexiunii de date la comutarea legăturii radio. Procedul de transfer soft caută să înlăture acest dezavantaj. De îndată ce s-a descoperit un posibil candidat de transfer (o stație de bază al cărei nivel de semnal recepționat este suficient de ridicat) se stabilește în paralel cu legătura radio veche o legătură nouă către acest candidat. Aceste două conexiuni pot fi folosite de acum încolo simultan și fără a fi necesară o comutare între ele. După ce s-a duplicat fluxul de date în COS-ul corespunzător și s-au

sincronizat cele două căi, se pot folosi cele două legături radio în mod dinamic, în funcție de starea de moment a canalului, fără a avea întreruperi în transmisia datelor. Această configurație poate fi menținută în stare activă atâta timp, până când se poate comuta complet și în siguranță pe stația de bază nouă.

În cele mai multe proiecte precum și în procesul de standardizare s-a urmărit soluția transferului hard ce se poate declanșa înainte de (break-make, forward) sau după ce (make-break, backward) conexiunea de date utile a fost comutată în rețea (vezi figura 2.7).



**Figura 2.7:** Categoriile de handover

Strategiile soft nu sunt discutate în WATM CS1, deasemenea nu sunt prevăzute renegocieri ale parametrilor de calitate a serviciilor. Mai presus de aceasta, mecanismele de transfer nu sunt capabile de a evita pierderi de celule. De aceea fiecare transfer poate conduce, datorită întreruperii conexiunii, la astfel de pierderi, integritatea fluxului de date nefiind astfel garantată. Țelul declarat al proiectului WATM CS1 și al procedeeleor și sistemelor rezultate din acesta este ca transferul să influențeze cât mai puțin fluxul de date utile. Această premiză este suficientă în cazul sistemelor locale de mobilitate redusă bazate pe HIPERLAN, pentru care s-a scris o mare parte din standardul ATM. Viteza de transmisie a datelor de abia că atinge domeniul lățimii de bandă folosite iar transferurile sunt destul de rare. Cerințele puse în fața mecanismelor de transfer pentru rețelele

mobile 4G vor fi cu mult mai mari, așa după cum s-a discutat în capitolul 2.1.2. Sistemele pico sau nanocelulare vor pune la dispoziția terminalelor de mobilitate ridicată servicii de bandă largă. Aceasta va avea ca rezultat o rată mult mai mare de handover care aduce cu sine un trafic de semnalizare mult mai ridicat între nodurile rețelei. Situația se agravează și mai mult prin faptul că terminalele ATM pot menține active simultan mai multe conexiuni virtuale. Serviciile de bandă largă vor avea aceleași cerințe de calitate ca și în rețeaua fixă: serviciile în timp real nu vor tolera întârzieri mari de transmisie iar alte servicii vor necesita o rată foarte scăzută de pierderi sau erori de celule. Luând în considerare și scenariile complexe de canal radio cu prag de umbrire obținem o imagine de ansamblu foarte pretențioasă a mecanismelor de transfer din rețelele de bandă largă WATM din viitor.

În concluzie principalele criterii de concepere a protocoalelor WATM sunt:

- Latență scăzută și executare rapidă
- Suport flexibil al diverselor clase de QoS
- Fiabilitate și reacție rapidă la schimbări pe termen scurt a condițiilor de propagare
- Robustețe la pierderea bruscă a recepției

Aceste criterii sunt influențate atât de procedeu de transfer ales cât și de mecanismul de rerutare precum și de interacțiunea dintre ele. În capitolele ce urmează se va defini un nou procedeu de transfer care să respecte aceste criterii.

### **2.3.3 Protocoale de transfer al apelului**

O condiție esențială a oricărui transfer este existența unor protocoale de semnalizare care să coordoneze mecanismele de control ale acestuia, implementate în elementele rețelei: MT, RAP, MAS. Forumul ATM definește pentru cele patru cazuri diferite de transfer (intrazonal, interzonal, transfer înainte și transfer înapoi) un protocol al planului ATM ale cărui mesaje sunt transparente pentru RAP-urile participante [20]. În același timp nu se specifică, din punct de vedere al semnalizării, interfața radio, tocmai pentru a lăsa la libera alegere tehnologia, metoda de acces la acest mediu și protocoalele folosite. Prin aceasta semnalizarea de transfer din WATM se limitează la un schimb de mesaje între



instanțele ATM participante din terminalul mobil MT, din MAS și din punctul de încrucișare ACS / COS. Protocolul de eroare folosit pentru aceste mesaje este SSCOP (Service Specific Connection Oriented Protocol) [20]. Transferurile sunt inițiate în WATM CS1 de către terminalul mobil (mobile initiated handover), iar ele se pot desfășura numai secvențial, handover-uri simultane nefiind permise.

Protocolul de transfer al stratului ATM trebuie să inițieze funcții de control al RAP-ului și să recepționeze mesaje de stare de la această instanță de comandă. Aceasta din urmă poate avea implementări diferite, în funcție modul de realizare al interfeței dintre RAP și MAS. Dacă RAP și MAS sunt realizate în blocuri de hardware diferite conectate printr-o interfață bine definită (soluția modulară), atunci este prevăzută în WATM CS1 utilizarea unui protocol suplimentar de comandă a acestei interfețe, protocol situat sub planul ATM și denumit Acces Point Control Protocol APCP. Comanda se execută, pe timpul desfășurării unui transfer, atât la nivel ATM cât și la nivel de interfață radio, deci în două componente fizice de rețea diferite: RAP și MAS. Alternativa o constituie realizarea lui RAP și MAS într-o singură unitate fizică (soluția integrată). Aceasta prevede extinderea MAS-ului prin adăugarea de porturi cu acces prin radio, funcțiile specifice ale interfeței radio fiind controlate de MAS iar interfața dintre MAS și RAP devenind o interfață internă (virtuală) a acestuia. Deci RAP-ul dispare ca entitate fizică, el devenind parte integrantă a MAS-ului. Controlul transferului pentru stratul ATM respectiv interfața radio este implementat în acest caz într-o singură componentă făcând inutilă utilizarea protocolului APCP [20]. În diagramele din figurile 2.8 – 2.11 este reprezentată câte o variantă a soluției modulare, deoarece soluția integrată nu prevede un schimb de mesaje între MAS și RAP.

Transferul înapoi al WATM CS1 este inițiat de terminalul mobil MT. Acesta măsoară nivelul semnalului recepționat de la emițătoarele învecinate, identifică prin decodarea informației aferente RAP-ul corespunzător fiecărei purtătoare și creează o listă de candidați de transfer, în ordinea priorității dată de criteriile sale preferate. Această listă este transmisă, împreună cu o a doua listă a conexiunilor ce trebuie luate în considerare în cazul unui transfer (conexiuni virtuale), în cadrul mesajului de cerere de executare a unui handover (BW\_HO\_REQUEST), la instanța de decizie a MAS-ului. Ambele liste sunt transferate mai departe de către MAS , împreună cu vectorii descriptivi ai serviciului (parametrii de trafic și QoS) ai conexiunilor virtuale la



RAP-urile ce ar putea fi luate în considerare (APCP\_ENQUIRYREQ). RAP-ul verifică dacă există destule resurse disponibile și semnalizează MAS-ului dacă este posibilă executarea transferului și pentru care dintre conexiuni.

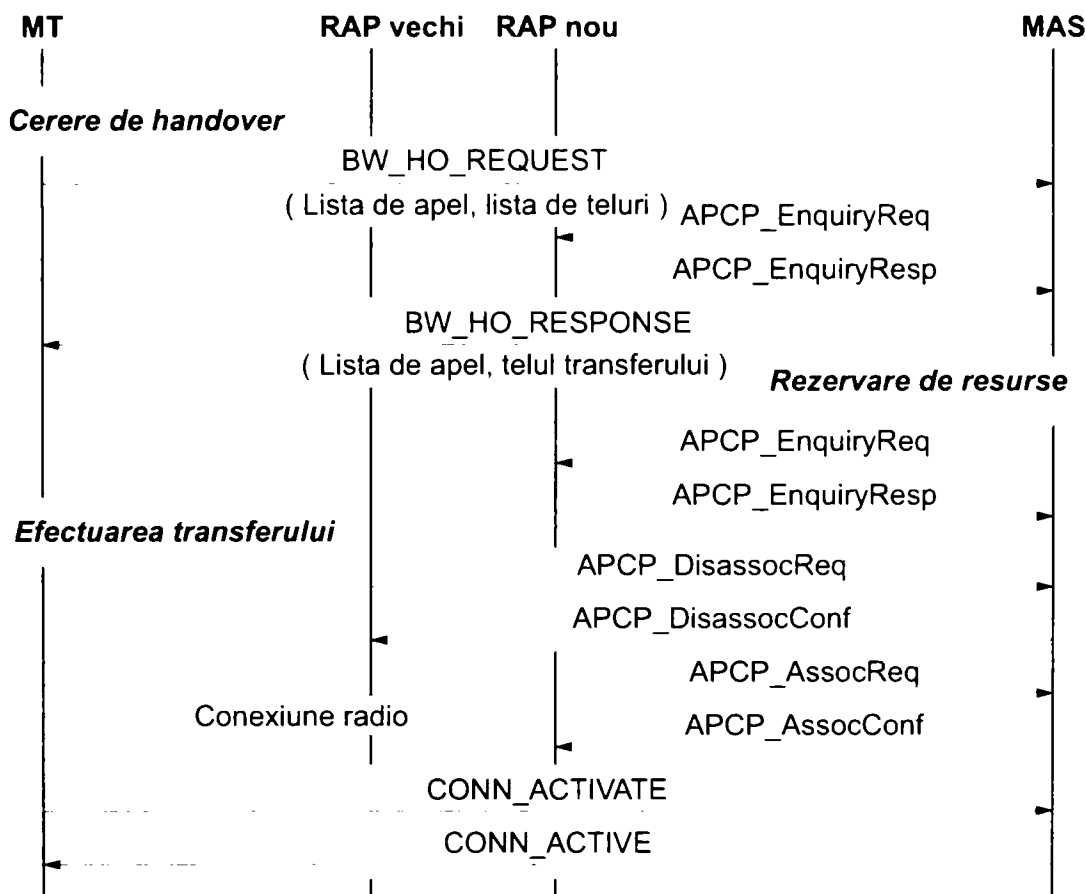


Figura 2.8: Transfer intrazonal înapoi în WATM CS1

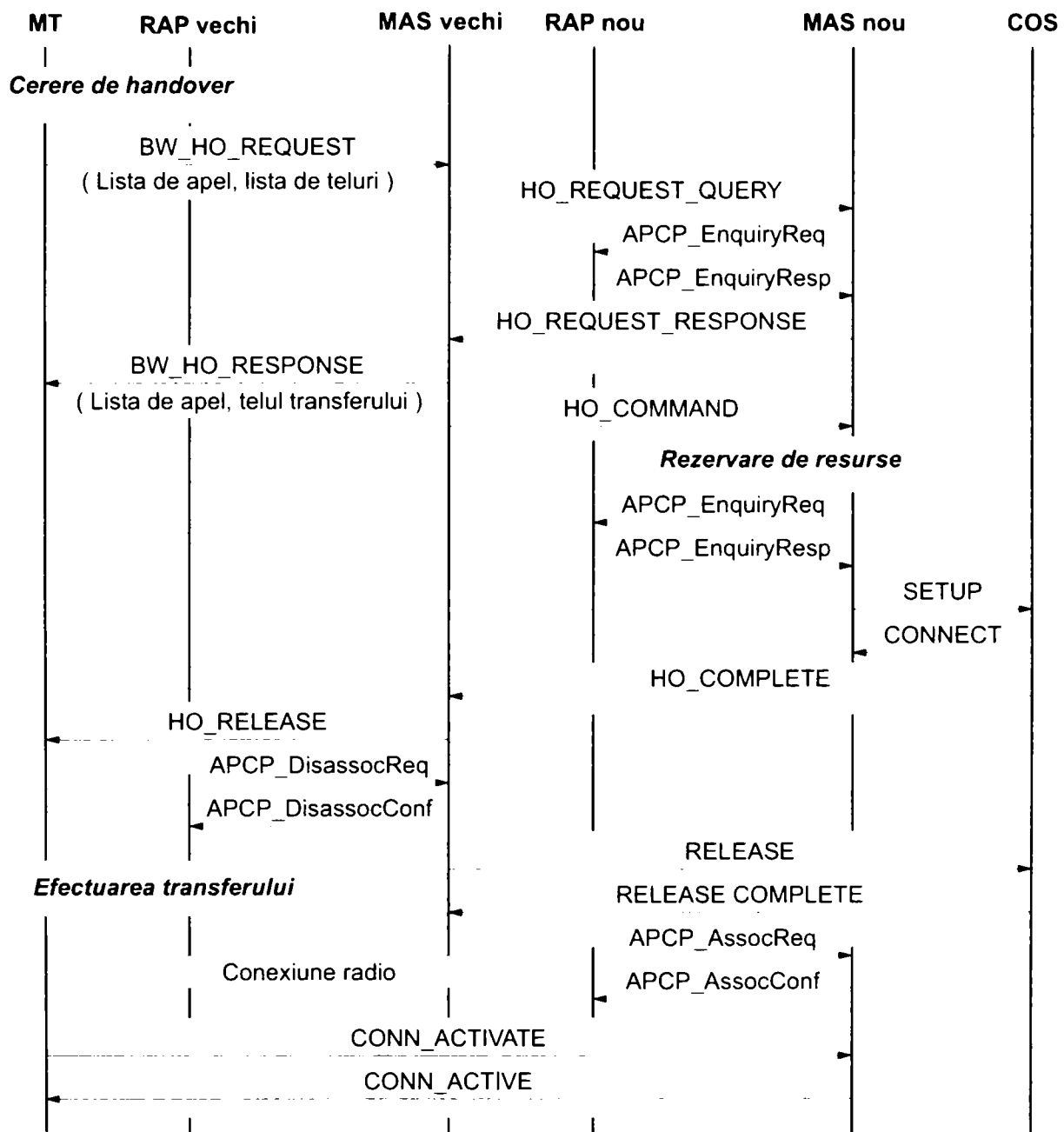
Până în acest moment încă nu s-au rezervat resurse pe interfața radio. După primirea răspunsurilor (APCP\_ENQUIRYRESP) MAS-ul ia decizia de efectuare a transferului și informează MT-ul asupra țelului ales și al conexiunilor ce urmează a fi transferate (BW\_HO\_RESPONSE). Dacă transferul nu este posibil pentru toate conexiunile dorite, MT-ul poate reacționa în acest moment, de exemplu, prin terminarea controlată a acestor conexiuni. MAS-ul trimite în același timp RAP-ului în cauză comanda de alocare a resurselor radio deja anunțate. Fluxul de date utile poate fi comutat de către MAS după confirmarea acestei alocări (APCP\_ENQUIRYRESP). Mesajul BW\_HO\_RESPONSE conține un flag ce indică tipul de transfer inter- sau intrazonal. În cazul unui transfer intrazonal nu este

necesară o rerutare a conexiunilor, ele putând fi comutate imediat. MT-ul deactivează conexiunea sa veche și stabilește una nouă spre țelul transferului. Stabilirea acestei noi conexiuni este semnalizată spre MAS (APCP\_ASSOCREQ). MT-ul comunică MAS-ului, după activarea cu succes a noii legături prin radio, faptul că este din nou în măsură de a recepționa sau emite date utile (CONN\_ACTIVATE). Această reluare a transmisiei este confirmată de MAS (CONN\_ACTIVE) împreună cu o listă finală a conexiunilor transferate și a numerelor de identificare acordate (VCI, VPI).

În mod asemănător se comandă și execuția unui transfer înapoi în cazul în care MT-ul părăsește zona unui anumit MAS (figura 2.9). Acest MAS recunoaște pe baza listei de candidați pentru transfer ce i-a fost comunicată faptul că aceștia se află în afara zonei sale și comunică mai departe cererile de transfer tuturor MAS-urilor răspunzătoare de acești candidați.

Pentru a putea fi găsite aceste MAS-uri este necesară o schemă de adresare structurată a RAP, din care să reiasă interdependența MAS-RAP. Aceste MAS-uri, care au recepționat cererea de transfer, cercetează care dintre RAP-urile numite de MT în lista de candidați posedă resursele necesare și deasemenea care conexiune poate fi preluată. MAS-urile aleg întotdeauna acel RAP care poate prelua cele mai multe conexiuni (în mod ideal chiar toate). De îndată ce s-a stabilit, în zonele cercetate, un RAP ca și candidat pentru un transfer, el este comunicat împreună cu conexiunile ce au fost acceptate (HO\_REQUEST-RESPONSE, BW-HO-RESPONSE). MAS-ul vechi ia decizia în favoarea unui candidat și implicit în favoarea unei zone respectiv a unui MAS nou și inițiază procesul de rerutare a conexiunilor în rețea (HO\_COMMAND). Criteriile și algoritmiile de decizie pentru alegerea noului RAP (atât pentru vechiul cât și pentru noul MAS) nu sunt definite în standard, rămânând la libera alegere a producătorului de echipament sau a utilizatorului rețelei.

Ceea ce mai rămâne de făcut este rerutarea conexiunii în rețea, pentru care este necesară stabilirea unei noi căi de transmisie între noul MAS și punctul de încrucișare respectiv comutare COS. Protocolul de handover nu specifică modalitatea de alegere a COS-ului. Mesajul HO\_COMMAND poate conține adresa COS-ului, dacă acesta este deja cunoscut.



**Figura 2.9:** Transfer înapoi (Backward Handover) interzonal în WATM CS1

Acesta este cazul pentru arhitectura de rețea prezentată în figura 2.6, în care adresa ACS-ului este deja cunoscută în momentul setării conexiunii. Dacă COS-ul este căutat dinamic, atunci mesajul poate conține adresele nodului inițial sau final de căutare. După activarea resurselor în noul RAP se stabilesc noile conexiuni parțiale pentru transportul datelor utile (SETUP, CONNECT). Setarea cu succes a unei conexiuni parțiale este semnalizată MAS-ului vechi (HO\_COMPLETE). Această tranzacție (SETUP, CONNECT, HO\_COMPLETE) se repetă pentru fiecare din conexiunile virtuale ale terminalului mobil. După ce MAS-ul vechi a recepționat

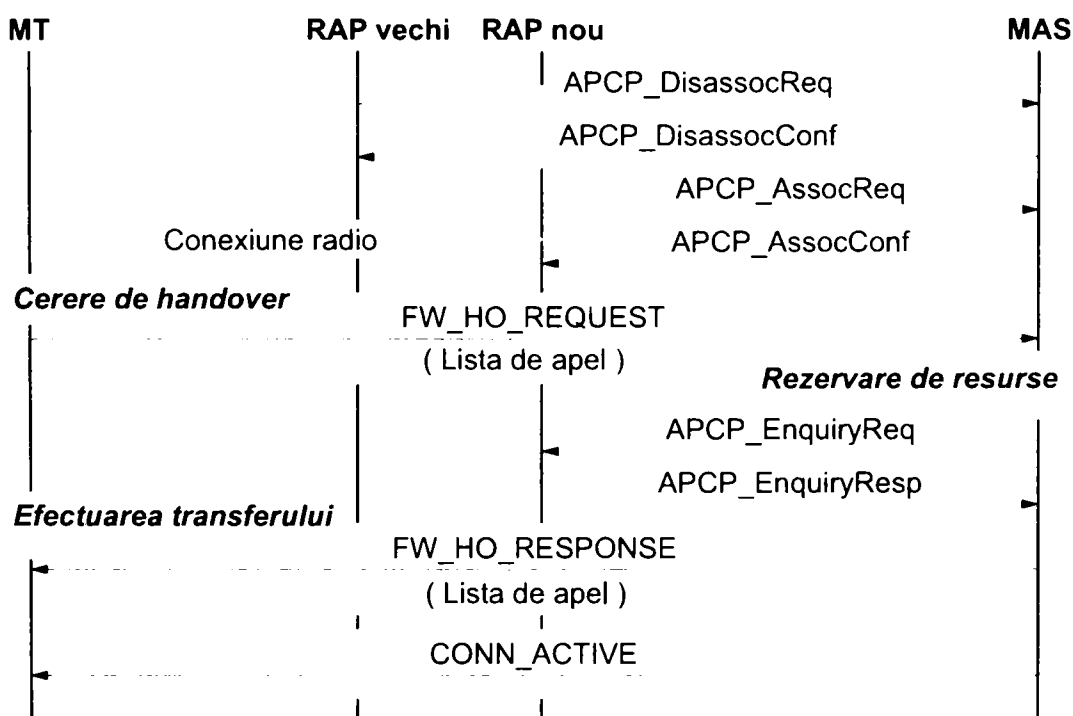
mesajul HO\_COMPLETE de anunțare a unei rerutări efectuate cu succes pentru toate conexiunile virtuale ale MT-ului, el "aprobă" transferul (HO\_RELEASE). Acest ultim pas este însă controlat printr-un timer, așa încât acest mesaj poate fi câteodată semnalizat înainte de a fi recepționat un HO\_COMPLETE pentru toate conexiunile. Legătura veche prin radio poate fi deactivată de îndată ce MT-ul a fost informat de terminarea rerutării și a primit aprobarea de a executa acest handover (HO\_RELEASE). În același timp se anulează toate căile de care nu mai este nevoie între MAS-ul vechi și COS pentru fiecare conexiune virtuală în parte (RELEASE, RELEASE COMPLETE). În acest moment este comutată și conexiunea de date utile de către COS. După activarea unei noi legături radio se activează și noua cale prin rețea și îi sunt comunicate MT-ului noile VPI / VCI (CONN\_ACTIVATE, CONN\_ACTIVE). Se poate întâmpla, de la caz la caz, ca rerutarea să nu fie încheiată pentru toate conexiunile de date utile în momentul în care MT-ul semnalizează CONN\_ACTIVATE, ca urmare este necesară transmiterea mai multor comenzi CONN\_ACTIVE.

În sistemele WATM este deseori întâlnit cazul unei întreruperi abrupte a legăturii prin radio, datorate de exemplu unui prag de umbrire similar celui descris în capitolul 2.2.3, întrerupere imprevizibilă în momentul inițierii unei tranzacții de handover. În acest caz nu se mai poate realiza, până în momentul comutării legăturii radio prin intermediul RAP-ului vechi, o tranzacție complexă de semnalizare cum este cea a unui transfer înapoi. Fiind deja inițiat un astfel de transfer, MT-ului îi revine rolul de a termina înainte de vreme legătura radio veche. Dacă aceasta se întâmplă înainte de a primi confirmarea de transfer de la RAP-ul ales (BW\_HO\_RESPONSE), atunci tranzacția de transfer trebuie întreruptă și trebuie terminate conexiunile de date utile. În cazul în care MT-ul cunoaște deja țelul transferului atunci legătura radio cu noul RAP poate fi stabilită chiar înainte ca să se primească aprobarea de transfer (HO\_RELEASE). Eventual este necesar un timp de așteptare din partea MT-ului până când se termină rerutarea tuturor conexiunilor. Acest moment este semnalizat prin recepționarea ultimului mesaj CONN\_ACTIVE. Dacă întreruperea abruptă a legăturii radio apare înainte de a se fi recunoscut o condiție de transfer atunci singura soluție care mai rămâne la dispoziție este întreruperea conexiunilor, în cazul în care nu dispunem decât de opțiunea unui transfer înapoi. Considerând probabilitatea mare de apariție a unei astfel de situații

în sistemele WATM, a fost prevăzut în WATM CS1 un mecanism suplimentar de transfer și anume transferul înainte (forward handover) prezentat în figurile 2.10 și 2.11.

Acest tip de transfer permite MT-ului să dirijeze noua conexiune spre noul RAP chiar dacă cea veche a fost, din diverse motive, terminată prematur. MT-ul ia în acest caz decizia cu privire la țelul transferului. El termină conexiunea prin radio momentană, alege un candidat de handover și stabilește o nouă conexiune radio. Ambele evenimente privitoare la aceste conexiuni sunt, în cazul unui sistem modular, comunicate MAS-ului afectat prin intermediul APCP-ului corespunzător. După stabilirea noii conexiunii prin radio este inițiat transferul conexiunilor la MAS-ul nou (FW\_HO\_REQUEST).

În cazul unui transfer înainte intrazonal (figura 2.10) se semnalizează prin mesajul FW\_HO\_RESPONSE conexiunile transferate, după ce s-a efectuat în prealabil rezervarea de resurse la nivelul RAP.



**Figura 2.10:** Transfer înainte (Forward Handover) intrazonal în WATM CS1

În final se transmite o confirmare a executării corecte și complete a transferului prin intermediul mesajului CONN\_ACTIVE.

În cazul transferului înainte interzonal din figura 2.11 trebuie efectuată înainte de toate o rerutare a conexiunilor. Noul MAS îi transmite vechiului MAS în primul rând informații despre situația generală în ceea ce privește transferul (HO\_NOTIFY). După ce s-au rezervat resursele necesare în RAP i se confirmă MT-ului transferul (FW\_HO\_RESPONSE) și se inițiază rerutarea pentru fiecare conexiune (SETUP, CONNECT). Succesul rerutării îi este comunicat MT-ului (CONN\_ACTIVE) și se termină conexiunile parțiale (HO\_COMPLETE, RELEASE, RELEASE\_COMPLETE), în acest caz pentru fiecare conexiune în parte. Ca și în cazul transferului înapoi nu s-a definit mecanismul de alegere a COS-ului.

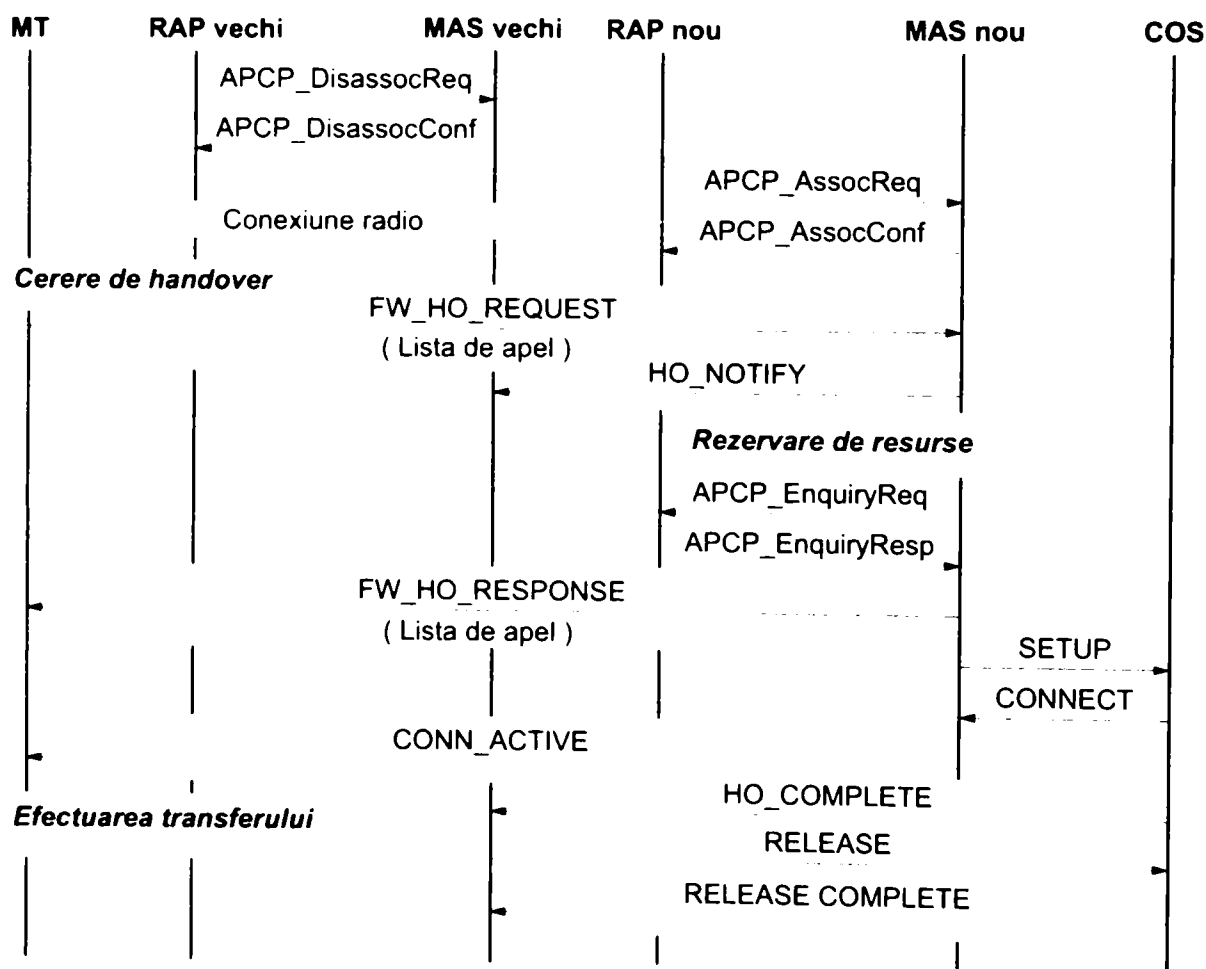


Figura 2.11: Transfer înainte (Forward Handover) interzonal în WATM CS1

## 2.4 Traficul de handover

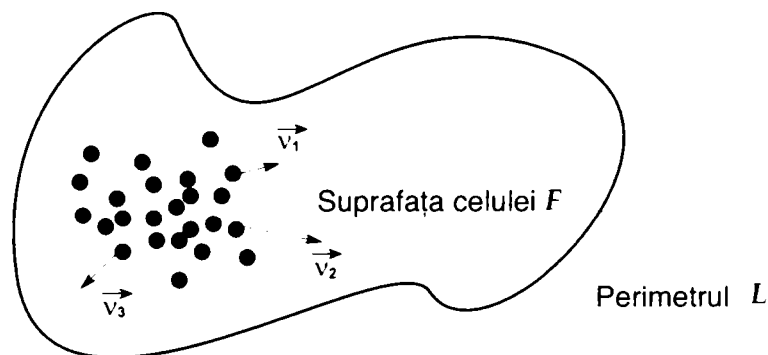
### 2.4.1 Model analitic

Sistemele ATM mobile trebuie să prelucreze o cantitate foarte mare de informație de semnalizare cauzată de schimbarea frecvență a celulei active, determinată de structura micro- și chiar picocelulară a rețelei.

În cele ce urmează se va estima această sarcină de semnalizare. Estimarea se bazează pe o analiză bazată pe principiul dinamicii fluidelor (Fluid Flow) de modelare a mobilității. Traficul util va fi descris cu ajutorul unui proces Poisson.

Metoda Fluid-Flow este folosită în literatură pentru a evalua rata tranzacțiilor din bazele de date în sisteme microcelulare [12][136][145][146][183][201].

În cele ce urmează se consideră o microcelulă cu aria  $A$  și cu un perimetru de lungime  $L$ , în care terminalele mobile sunt distribuite și se mișcă în mod omogen (figura 2.12).



**Figura 2.12:** Modelul Fluid-Flow al unei microcelule

Presupunerea unei mișcări omogene înseamnă cu alte cuvinte presupunerea unei distribuții egale, între  $[0, 2\pi]$ , a direcțiilor de mișcare. În plus se presupune că toate terminalele mobile se deplasează cu viteza medie  $v$ . Densitatea de terminale pe unitatea de suprafață este  $\rho$ .

Pentru frecvența  $\bar{R}$  de traversare a liniei de margine este valabilă ecuația de mai jos [12]:

$$\bar{R} = \frac{L}{\pi} \rho v = \frac{L}{\pi} \rho v(\rho) \quad (1)$$

Condițiile de stare în interiorul unei celule sunt în mod normal neomogene. Cea mai neplauzibilă supoziție este cea a deplasării cu aceeași viteză constantă. De aceea se consideră în cele ce urmează că abonații sunt împărțiți în mai multe clase de viteză. Terminalele mobile ale unei clase  $i$  se deplasează cu viteza medie  $v_i$  iar densitatea de terminale pe unitatea de suprafață este  $\rho_i$ . Frecvența  $\bar{R}_i$  cu care un terminal mobil aparținând unei clase  $i$  traversează granița unei celule se poate exprima prin analogie cu (1) sub forma

$$\bar{R}_i = \frac{L}{\pi} \rho_i v_i \quad (2)$$

Frecvența totală de apariție a unei mișcări peste granițele celulelor este dată de formula

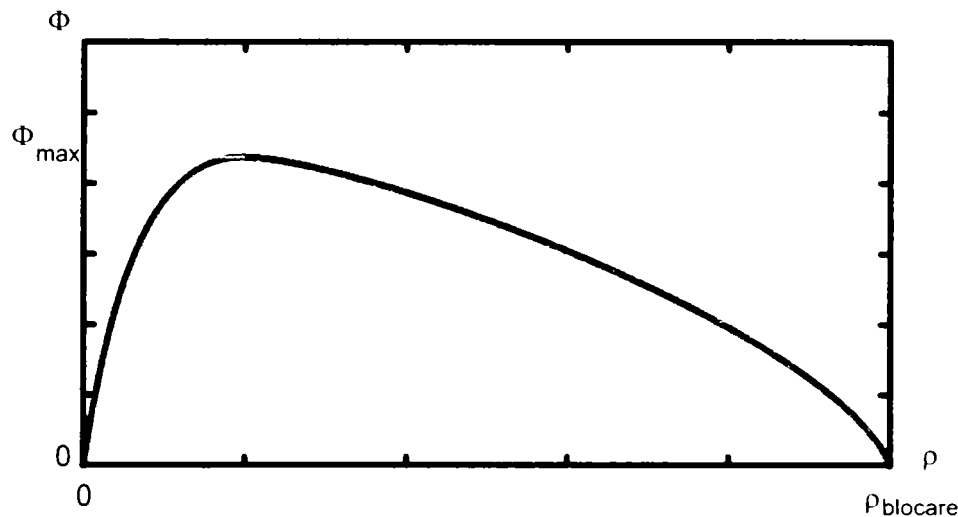
$$R = \sum_{\forall i} \bar{R}_i = \frac{L}{\pi} \sum_{\forall i} \rho_i v_i = \frac{L}{\pi} \sum_{\forall i} \phi_i \quad (3)$$

Mărimile  $\phi_i = \phi_i(\rho_i, v_i(\rho_i))$  se definesc în continuare ca fiind fluxul parțial al clasei  $i$  și se rezumă în final la vectorul  $\Phi = [\phi_1 \phi_2 \dots \phi_M]^T$ . Frecvența  $R$  poate fi în acest caz reprezentată cu ajutorul vectorului unitar  $e$  ca fiind

$$R = \frac{L}{\pi} e \cdot \Phi \quad (4)$$

Fluxul parțial nu este dependent în mod liniar de densitatea terminalelor mobile. O densitate foarte scăzută de terminale mobile într-o anumită celulă conduce la o rată scăzută de traversare a graniței celulei. Fluxul parțial crește mai întâi odată cu creșterea densității până la atingerea unei valori maxime  $\phi_{i,max}$  ca mai apoi să scadă continuu până ajunge la zero, la valoarea  $\rho_{iblocare}$ . Din teoria și analiza traficului rutier este cunoscut faptul că densitatea la care fluxul este maxim reprezintă numai circa 20% din densitatea maximă [148]. Corelația tipică dintre fluxul parțial și densitatea de terminale mobile este prezentată în figura 2.13.





**Figura 2.13:** Reprezentare schematică calitativă a corelației dintre fluxul parțial și densitatea de abonați

Acest model calitativ ne oferă posibilitatea de a estima ratele de transfer ale viitoarelor rețele de telefonie mobilă. Transferurile sunt comandate la traversarea granițelor celulei pe timpul unei conexiuni active. Estimând distribuția Poisson pentru traficul util putem defini probabilitatea  $a_i$ , ca un terminal mobil să posede la un moment dat o conexiune activă ca fiind

$$a_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} = \frac{A_i}{N_i} \tag{5}$$

în care  $\lambda_i$  reprezintă rata medie de succes a unui apel,  $1/\mu_i$  durata medie a unui apel iar  $N_i$  numărul de terminale mobile din clasa  $i$ . Rata de transfer într-o anumită celulă dată se poate calcula deci cu formula

$$R_H = \frac{L}{\pi} \Phi^T \mathbf{a} = \frac{L}{\pi} \sum_{\forall i} \frac{\lambda_i}{\mu_i} \phi_i \tag{9}$$

Vectorul  $\mathbf{a} = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_M]^T$  este definit ca fiind vectorul modelului de mobilitate.

Tabelul 2.3 conține câteva valori tipice, obținute în concordanță cu analizele din [148] și încercările de modelare a microcelulelor din [183]. Ipoteza ce a stat la baza parametrilor de modelare este cea a unei penetrații a telefoniei mobile, raportată la totalul populației, de 30%. Această valoare a fost luată în considerare și

în calculul parametrilor din tabelul de mai sus. S-au folosit deasemenea  $M = 3$  clase: vehicule lente, vehicule rapide precum și pietoni.

**Tabelul 2.3:** Clase de mobilitate pentru studiul numeric al modelului de mobilitate

Clasă	Parametru	Valoare tipică
Vehicule rapide (flux maxim)	Densitate $\rho$	186,4 km <sup>-2</sup>
	Viteză $v$	25 km / h
	Trafic oferit $a$	30 mErl
	Rata medie de transmisie a datelor	1 Mbit / s
Vehicule lente (flux saturat)	Densitate $\rho$	1011,3 km <sup>-2</sup>
	Viteză $v$	3 km / h
	Trafic oferit $a$	60 mErl
	Rata medie de transmisie a datelor	3 Mbit / s
Pietoni	Densitate $\rho$	12916,7 km <sup>-2</sup>
	Viteză $v$	1 km / h
	Trafic oferit $a$	40 mErl
	Rata medie de transmisie a datelor	1 Mbit / s

Repartiția vehiculelor pe cele două clase: rapide și lente se poate descrie prin cota parte  $\xi$  a suprafeței saturate a celulei din suprafața totală. Această cotă parte are o densitate atât de mare de terminale mobile, încât o creștere în continuare a acesteia ar conduce în mod inevitabil un la blocaj de trafic. Un exemplu al unei astfel de situații în care se constată apariția unui blocaj de trafic este traficul la începutul unei zile de muncă. Terminalele mobile din zonele saturate au o viteză medie de deplasare scăzută. Prin parametrul  $\eta$  se poate descrie partea din suprafața totală a celulei, în care pietonii au contribuția principală la trafic. Fluxul parțial se poate modifica cu ajutorul unei matrici de pondere  $\mathbf{w} = \text{diag}[w_1, w_2, \dots, w_M]$ .

În cazul nostru  $\mathbf{w} = \text{diag}[(1 - \xi) \xi \eta]$  iar rata de transfer se poate exprima sub forma:

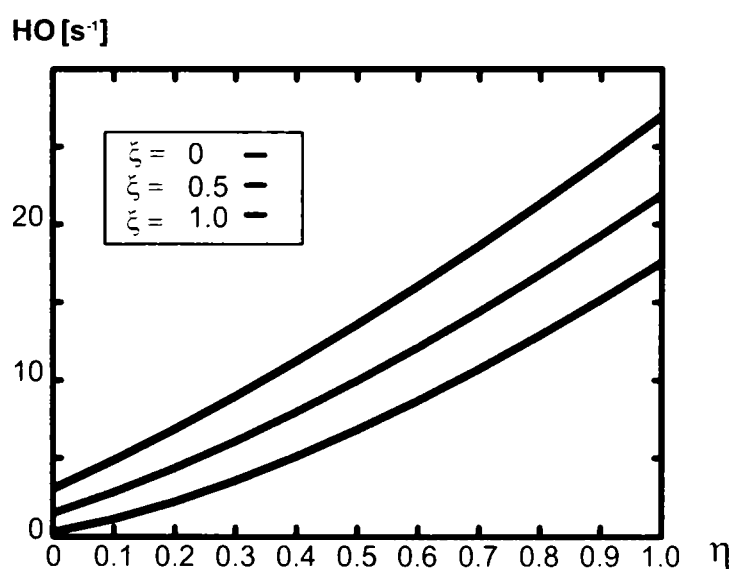
$$\overline{R_H} = \frac{L}{\pi} \mathbf{w} \Phi \mathbf{a} \tag{10}$$

**Tabelul 2.4:** Parametrii generali ai modelului de mobilitate

Parametru	Valoare tipică
Penetrația de telefonie mobilă	30 %
Grad de saturație $\xi$	0 – 100 %
Penetrația pietonală $\eta$	0 – 100 %
Capacitatea $C$	155 Mbit / s
Blocajul $B$	1 %

### 2.4.2 Studiu numeric

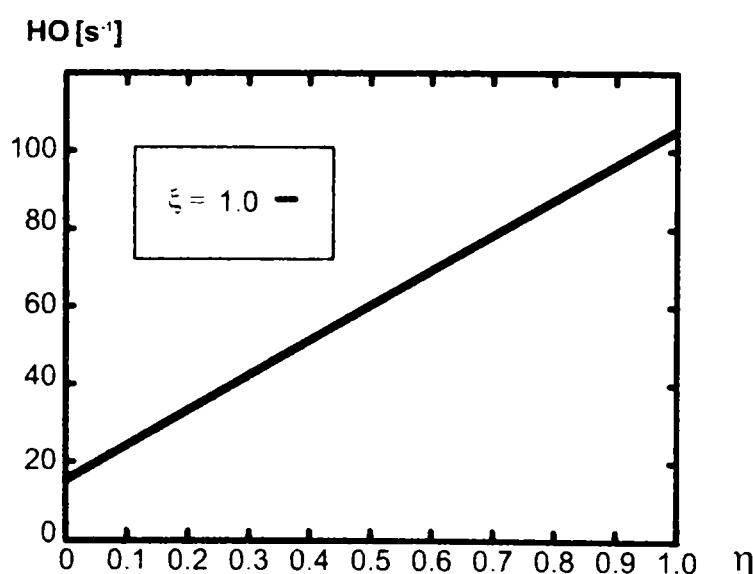
În continuare vor fi prezentate două exemple numerice ce ilustrează ratele de transfer ce se obțin pentru un nod de comutație cu suport al mobilității.



**Figura 2.14:** Rata de transfer per MAS în funcție de penetrația pietonală și gradul de saturație la sisteme cu celule de mărime variabilă

În primul exemplu prezentat în figura 2.14 se adaptează mărimea celulei la densitatea de trafic momentană, așa încât să se poată oferi serviciile dorite în condițiile unei blocări maxime. Ca urmare, diametrul celulei se micșorează, pe măsură ce crește penetrația pietonală și, odată cu ea, gradul de saturație. Deasemenea, se presupune că MAS-ul controlează un domeniu fix cu alte cuvinte o suprafață geografică bine determinată. În consecință, numărul de celule necesar pentru acoperirea acestei suprafețe respectiv numărul de RAP-uri va crește continuu până la aproximativ 150.

MAS-ul posedă în cazul unei mărimi fixe a celulei de 50 m circa 2000 de celule în domeniul său de acoperire, ca urmare rata de transfer va fi cu mult mai mare (figura 2.15), ea fiind în acest caz independentă de gradul de saturație.



**Figura 2.15:** Rata de transfer per MAS în funcție de penetrația pietonală și gradul de saturație la sisteme cu celule de mărime fixă (50 m)

## 2.5 Concluzii

În cadrul capitolului 2 autorul prezintă într-un prim paragraf o imagine de ansamblu asupra cercetărilor și principalelor proiecte din domeniul sistemelor mobile de bandă largă. În continuare, autorul descrie și analizează subsistemul radio ca și componentă esențială a unui sistem celular mobil. Mecanismele de

propagare cunoscute din domeniile de frecvență utilizate în rețelele de tip GSM pot fi preluate fără modificări. Caracteristica principală a canalelor din domeniul undelor milimetrice (GHz) o constituie propagarea quasi-optică a semnalului ce are ca efect o atenuarea de material deosebit de ridicată, care la rândul ei conduce la un fading lent al semnalului. Undele reflectate multiple generează, la rândul lor, un fading rapid. Acoperirea maximă și deci, implicit, mărimea unei celule depinde de existența unui contact vizual (LOS) cu emițătorul. Tranziția foarte abruptă dintre recepția directă și cea indirectă (LOS–NLOS) reprezintă un scenariu important de transfer pentru sistemele WATM, protocolul de semnalizare trebuind a fi în măsură de a evita pierderea conexiunii. Autorul descrie această situație critică cu ajutorul unui model al unui prag de umbrire plasat la o distanță variabilă față de emițător. Perderile pe calea de propagare cresc, la trecerea peste acest prag, cu o valoare ce depinde linear de distanța dintre terminalul mobil și stația de bază. Autorul exemplifică numeric efectele pe care pragul de umbrire le are asupra conexiunii, vizualizând dependența frecvenței de eroare la nivel de celulă de SNR.

Autorul introduce în continuarea acestui capitol conceptul zonal bazat pe RAP, MAS, ACS și COS care stă la baza considerațiilor ulterioare din lucrare, plecând de la constatarea că transferul și rerutarea conexiunii sunt direct influențate de arhitectura rețelei, toate celelalte aspecte ale mobilității (localizare, actualizarea informației de locație, paging, roaming) putând fi realizate prin mecanisme și protocoale corespunzătoare de semnalizare. Această arhitectură structurată ierarhic prezintă ca element de noutate cele două planuri de comutație: un plan local în care transferurile sunt controlate de un nod de comutație ATM cu suport al mobilității MAS, fără a fi necesară rerutarea conexiunii și un plan superior în care sunt controlate și coordonate, dinspre rețea, de către un al doilea nod ACS, transferurile interzonale cu rerutarea conexiunii. Autorul efectuează o analiză aprofundată a funcțiilor rețelei de suport a mobilității urmată de o descriere detaliată a protocoalelor de semnalizare ce coordonează mecanismele de control al transferului conexiunii, în cele patru situații standard definite de Forumul ATM: transfer intrazonal, interzonal, transfer înainte (Forward Handover) și transfer înapoi (Backward Handover).

Pentru analiza traficului de handover și estimarea sarcinii provocată de acesta în rețea, autorul concepe o analiză bazată pe principiul dinamicii fluidelor

(Fluid Flow) de modelare a mobilității, traficul util fiind descris cu ajutorul unui proces Poisson. Din această analiză se desprinde concluzia că fluxul parțial de trafic al unei clase anume de terminale mobile nu este dependent în mod linear de densitatea acestor terminale. O densitate foarte scăzută de terminale mobile într-o anumită celulă conduce la o rată scăzută de traversare a graniței celulei. Fluxul parțial crește mai întâi odată cu creșterea densității până la atingerea unei valori maxime ca mai apoi să scadă continuu până ajunge la zero, la o valoare a densității ce conduce la blocare. Deasemenea, contribuția autorului constă în estimarea și exemplificarea numerică a ratei de transfer pentru rețele celulare mobile utilizând trei clase de mobilitate: vehicule lente, rapide și pietoni și luând în considerare cota parte din suprafața totală a celulei în care fiecare din cele trei clase este preponderentă.

### 3 Rerutare în rețele de tip ATM mobil

Pentru a oferi un suport al mobilității în rețelele ATM este necesar a fi definite și implementate mecanisme de rerutare (re-routing) a conexiunii. În cazul unui terminal mobil aflat în mișcare, operația de rerutare are ca scop căutarea permanentă de noi căi spre punctul terminus al conexiunii. Pentru a micșora sau chiar anula influența negativă pe care acest proces o exercită asupra fluxului de date utile, căutarea se efectuează numai pentru o porțiune locală a conexiunii, aflată în domeniul de influență directă al terminalului mobil. Trebuie evitată în orice caz implicarea punctului de plecare al conexiunii în procesul de căutare deci implicit rerutarea întregii conexiuni sau, într-un caz și mai defavorabil, chiar terminarea ei și stabilirea uneia noi. De aceea putem vorbi de o rerutare parțială (partial rerouting).

Rerutarea este declanșată prin trecerea terminalului mobil peste granițele unei anumite zone (transfer interzonal, figura 2.6) și conține următoarele etape principale:

- alegerea unui punct de comutare;
- căutarea unei noi rute parțiale în rețeaua ATM la momentul efectuării transferului
- asigurarea de capacități de transport de-a lungul căii parțiale;
- comutarea conexiunilor de pe calea veche pe calea nouă;

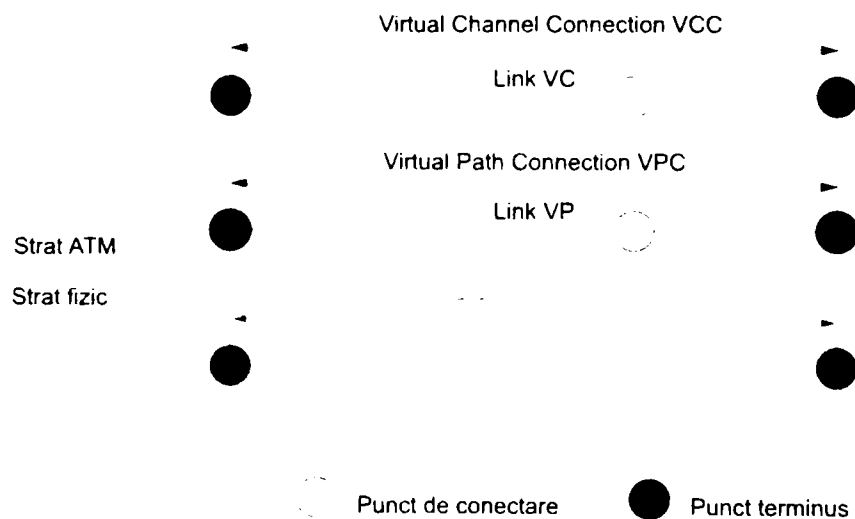
Porțiunea din conexiune “veche” ce trebuie rerutată este definită ca fiind segmentul dintre terminalul mobil și un punct de comutare din rețea, așa-numitul Cross-Over-Switch COS. Acest comutator este acel switch ATM pornind de la care se despart cele două căi ce conduc spre terminalul mobil, cea veche și cea nouă, respectiv privit dinspre terminal este punctul în care se unesc cele două căi.

#### 3.1 Planuri de comutație ATM

##### 3.1.1 Stabilirea căii căutate în planul de comutație ATM

Planul de comutație ATM este divizat într-un plan al căilor virtuale VP și un plan al canalelor virtuale VC suprapus lui. O conexiune ATM virtuală din planul VC (Virtual Channel Connection VCC) este compusă din mai multe segmente VC (Virtual Channel Link, VC-Link) situate între nodurile de comutație VC. Această

conexiune VC posedă un punct terminus (Endpoint) și la fiecare din cele două capete ale unui segment al ei un punct de conectare (Connecting Point). Un link VC al planului ATM este comutat printr-o conexiune a planului VP (Virtual Path Connection VPC), care la rândul ei consistă din unul sau mai multe segmente VP și posedă punctele terminus respectiv de conectare corespunzătoare. În nodurile de comutație VC ale unei rețele ATM sunt comutate conexiunile ATM din planul VC, ceea ce înseamnă de la caz la caz și schimbarea numerotării lor în ambele planuri VC și VP (Virtual Connection Identifier, Virtual Path Identifier). Un segment VP este comutat printr-o cale fizică (cablu, fascicul de microunde, etc.). La nivel fizic există mai multe subdiviziuni ale acestor căi (figura 3.1, [113]) care însă nu vor fi discutate în această lucrare.



**Figura 3.1:** Canale virtuale și căi virtuale în rețelele ATM

Pe durata stabilirii conexiunii se alege și setează pe secțiuni calea ce va fi urmată de această conexiune VCC prin rețea. În procesul de alegere a noii căi se folosește de exemplu protocolul Private Network Node Interface (PNNI). Acesta se bazează pe un model ierarhic, în mai multe trepte, de rutare ce asigură fiecărui nod ATM aparținând rețelei PNNI un strat abstract al topologiei rețelei. Informația topologică se folosește într-un proces de rutare dependentă de sursă (source routing) desfășurat pe etape. Prima decizie de rutare se va lua în nodul de comutație la a cărui interfață către utilizator s-a sesizat cererea de stabilire a unei conexiuni. Decizia luată este desigur bazată pe viziunea locală asupra topologiei



rețelei. În mod corespunzător, în acest nod se va genera și o listă a nodurilor de tranzit alese (Designated Transit List DTL).

Această DTL conține o imagine abstractă a rețelei. În nici un caz ea nu va conține toate nodurile fizice de-a lungul unei căi potențiale spre punctul terminus al conexiunii. Nodul de rețea curent alege unul din nodurile învecinate, căruia îi semnalizează cererea lui de conectare printr-un mesaj SETUP. Lista DTL este conținută în acest mesaj și deci extrasă și analizată de nodul adresat. Ruta aleasă este reîmprospătată și completată prin adăugarea de detalii privind topologia rețelei respectiv, la nevoie, poate fi creată o listă nouă. Procesul se repetă prin alegerea unui nou nod învecinat și transmiterea către acest nod într-un mesaj SETUP a listei DTL îmbunătățite sau chiar recreate. În acest mod este stabilită, pe etape, din nod în nod de comutație VC, conexiunea dorită. Nodul corespunzător fiecărui segment VC în parte trebuie să fie în măsură de a opta pentru o cale anume și de a lua decizia de acceptare sau nu a conexiunii.

### **3.1.2 Căi virtuale în rețele ATM**

Planul de comutație ATM este împărțit în două subplanuri, planul VC și planul VP, fapt ilustrat în figura 3.1. Subplanul VP este folosit îndeosebi în managementul rețelei sau pentru comanda și managementul traficului din rețea [30][217][238]. Exemple clasice în acest sens sunt:

- delimitarea claselor de servicii pentru o multiplexare statică eficientă;
- rețele logice pentru o comandă adaptivă în funcție de sarcină a traficului și stabilirea de căi directe prin matricea de comutare VP;
- rețele logice pentru o restabilire eficientă în caz de cădere.

Cercetări din domeniu demonstrează faptul că multiplexarea statică a conexiunilor cu rată variabilă de transmisie a datelor poate fi deosebit de eficientă în cazul în care fluxurile mixte de date posedă deasemenea o rată de transmisie variabilă [142][144][217]. Pentru a asigura transmisia eficientă din punct de vedere al gestiunii resurselor se pot stabili căi virtuale cu lățime de bandă dinainte rezervată, pe care să se transporte mai apoi traficul multiplexat statistic al amestecului omogen al unei clase de trafic. Cele două tipuri de trafic: cu rată de

transfer variabilă respectiv constantă vor fi rutate în acest caz pe căi diferite. Acest tip de management de trafic reprezintă o aplicație des întâlnită în practică a căilor virtuale din rețelele ATM.

Căile virtuale sunt utilizate și cu scopul de a defini peste topologia fizică a rețelei o a doua, suprapusă, virtuală. Această rețea "logică" permite alocarea de lățimi de bandă variabile pentru diferitele segmente VP ale conexiunii și prin aceasta adaptarea optimă a topologiei la fluxurile schimbătoare de trafic din rețea. Rețeaua "logică" reprezintă pe lângă multiplexarea statistică un alt nivel al managementului de trafic în rețelele ATM pentru care se pretează foarte bine utilizarea căilor virtuale [28] [30][217].

O conexiune VP dintr-o rețea ATM reprezintă din punct de vedere al planului de comutare VC o porțiune a conexiunii pe care s-a stabilit un segment VC (VC-link). Celulele ATM trec, atunci când ele traversează această porțiune, numai prin noduri de tip VP (VP-Switch, VP-Crossconnect). Punctele de conectare ale segmentului VC sunt punctele terminus ale conexiunii VP. În aceste puncte terminus se află situate comutatoare VC. Prin utilizarea de căi virtuale VP se poate reduce, la setarea unei conexiuni, numărul de segmente VC ce trebuie parcurse și implicit timpul necesar pentru această traversare. Numărul de segmente din care este compusă calea, deci numărul de segmente comutate, numite și "hopuri" ("hops") este în acest caz mai mic, prin aceasta scăzând direct și numărul de decizii ce trebuie luate în privința căii alese sau a acceptării sau nu a conexiunii. Un avantaj suplimentar îl constituie faptul că nu este necesar calculul în timp real, pe durata setării conexiunii, a căii de urmat prin rețea. În cadrul rețelelor bazate pe căi virtuale, rutele prin rețea se calculează cu ajutorul unor funcții ale managementului de rețea după care se stabilesc căi virtuale de-a lungul acestora. Prin aceasta, rutele sunt deja stabilite în momentul setării conexiunii. În acest context pot fi calculate concomitent, în scopul unei exploatare eficiente a resurselor, mai multe căi virtuale, așa încât să existe alternative de rutare care să ajute la distribuirea sarcinii de trafic.

Căile virtuale constituie, luate împreună, după cum am mai amintit, o rețea logică suprapusă peste rețeaua fizică, care poate fi mult mai ușor modificată pentru a o adapta diverselor situații întâlnite în practică. De exemplu se poate reacționa rapid la schimbarea priorității unor fluxuri de trafic sau comanda reducerea capacității unei rute utilizate numai într-o mică măsură.

### 3.2 Cerințe privitoare la rerutare

Protocoloalele de semnalizare pentru transferul conexiunii, standardizate în cadrul WATM CS1, lasă la libera alegere a utilizatorului respectiv a producătorului de echipament procedeul folosit pentru rutare și caracteristicile sale. Ele sunt complet independente și libere de orice constrângeri, definit fiind numai momentul în timp la care trebuie făcută rerutarea. Mecanismul de rerutare ales influențează însă în mare măsură procesul de transfer în totalitatea lui și efectul pe care acesta îl are asupra conexiunii de date utile respectiv asupra calității. Ca rezultat al acestor interdependențe, se pot formula unele cerințe în ceea ce privește procedeele de rerutare, cerințe ce vor fi discutate în cele ce urmează.

Pe lângă scopul principal, acela de a găsi o nouă cale prin rețea spre punctul momentan de acces la aceasta, un alt scop urmărit atunci când se inițiază o operație de rerutare este acela de a optimiza procesul de determinare a acestei căi. Acest rută optimă poate fi precizată în funcție de diverse criterii ce se pot sintetiza într-un vector de cost ce trebuie minimizat. Unele din criterii ar putea fi de exemplu:

- lungimea căii;
- distribuția traficului în rețea;
- distribuția sarcinii pe elementele de rețea;
- cerința de lățime de bandă în rețea și gestiunea acestei lățimi de bandă (multiplexare statistică);
- calitatea serviciilor oferite: blocarea, timpul de întârziere absolut, timpul de întârziere relativ sau distribuția acestuia, pierderile de celule.

Aceste criterii de optimizare sunt definite în caietul de sarcini pentru managementul unei anumite rețele date. Scopul principal urmărit este de a menține un grad înalt de exploatare a elementelor rețelei în condițiile unui nivel redus al cheltuielilor de exploatare și în același timp de a păstra și după un transfer, nivelul de calitate a conexiunii și clasa de servicii.

Alegerea unei căi (chiar și parțiale) optime este o problemă ce trebuie privită și analizată în mod separat de rerutarea din cadrul procesului de transfer. Pentru noua cale (parțială) se pot utiliza în principiu aceleași proceduri de validare a

conexiunii și de management de calitate ca și cele dintr-o rețea ATM fixă, ele nefiind tratate în lucrarea de față.

Procedeul de alegere a căii optime nu este singurul procedeu ce trebuie să ia în considerare cerințele de calitate ale conexiunilor virtuale, ele fiind în contact direct cu procedeele de transfer respectiv de comutare la rerutare. Prin comutarea VCC pe un alt emițător și o altă rută prin rețea pot apare influențe negative asupra fluxului de date, cum ar fi:

- întreruperi ale fluxului de date;
- pierdere de celule;
- fluctuații ale întârzierii pe calea de transmisie;
- duplicări ale celulelor (în funcție de procedeu utilizat).

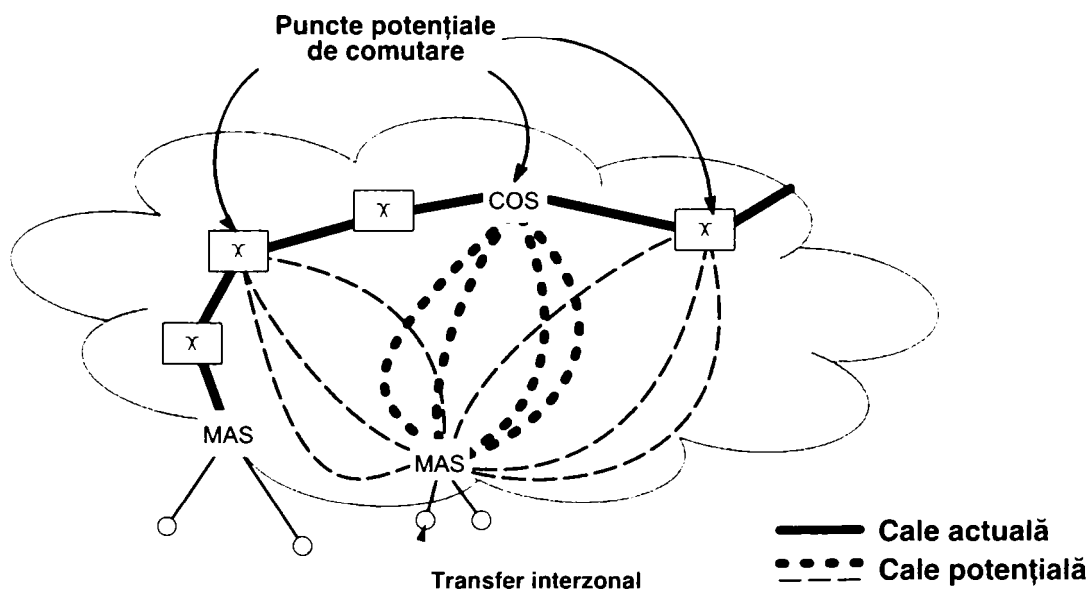
Aceste influențe la nivel de celulă vor fi discutate în cadrul prezentării procedeelelor de transfer fără pierderi din capitolul 4. O parte importantă din efortul total necesar pentru efectuarea unui transfer fără pierderi o constituie durata rerutării precum și lungimea segmentului conexiunii afectat de acest transfer. În general, un procedeu de transfer trebuie să fie destul de rapid în execuție și să comute numai segmente relativ mici ale conexiunii. Aceste cerințe sunt însă, după cum se vede, antagonistice celor ale unei rutări optime cu economie de resurse. Atingerea concomitentă a ambelor țeluri este foarte dificilă dacă nu imposibilă.

### 3.3 Clasificare a procedeelelor de rerutare

Procedeele de rerutare se deosebesc între ele în funcție de: ponderea cerințelor respectiv a criteriilor de evaluare, domeniile de aplicare și de modalitățile de implementare. În cele ce urmează se va încerca o clasificare în funcție de posibilitățile concepționale generale respectiv de scopurile principale urmărite de un astfel de procedeu.

### 3.3.1 Rerutare în rețele WATM

Punctul momentan de acces la rețea al unui abonat prin terminalul său mobil se schimbă mai mult sau mai puțin des în funcție de gradul de mobilitate al acestuia. Pe durata acestei deplasări permanente trebuie păstrate conexiunile sale de o așa manieră încât nivelurile de protocol superioare să nu sesizeze această mișcare respectiv să existe o constanță a parametrilor de calitate a serviciilor similară celei din rețelele fixe. Pentru a atinge acest scop este necesară o setare a conexiunilor trecând prin punctul momentan de acces la rețea. Cel mai târziu în momentul în care granițele unei anumite zone sunt depășite (vezi figura 2.6), se modifică calea urmată de o conexiune prin rețea și prin ea și o parte din comutatoarele VC prin care este dirijată conexiunea. Această nouă cale trebuie mai întâi aleasă iar de-a lungul ei trebuie luate, de către fiecare comutator, deciziile de acceptare a conexiunii respectiv de alegere a segmentului următor. După ce noua conexiune parțială a fost setată trebuie făcută comutarea fără pierderi de pe vechea pe noua cale. Tot acest proces de căutare, alegere, stabilire a noii căi și în final comutare de pe calea veche pe cea nouă este denumit în cele ce urmează "rerutare".

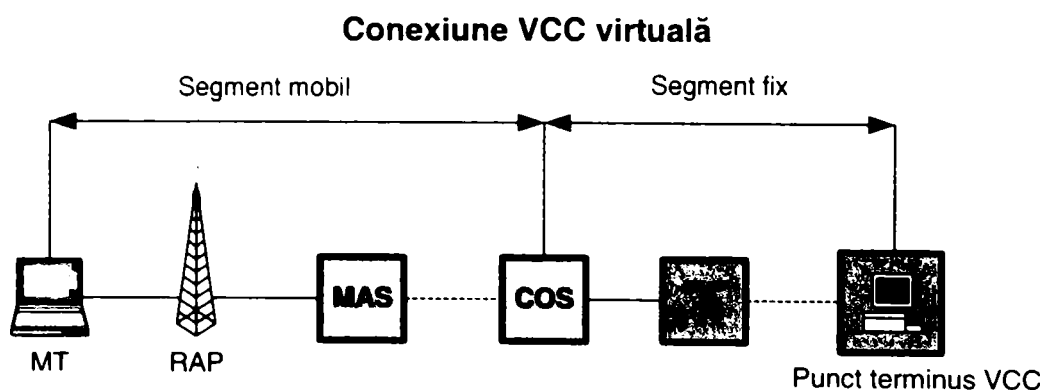


**Figura 3.2:** Căutarea și alegerea punctului de comutare la transferul interzonal

Problema principală a procesului de rerutare o constituie căutarea și alegerea noii căi. De exemplu în cazul unui handover trebuie căutată și aleasă o

cale dintr-o multitudine de căi ce conduc spre un anumit MAS. În general se constată o suprapunere a acestor căi până la un anumit punct de divergență care se pretează a fi ales ca și punct de comutare (Cross Over Switch, COS). Căutarea unei căi parțiale este simplificată dacă transferul se petrece în domeniul de care este răspunzător "vechiul" MAS, care preia în acest caz și rolul COS-ului (transfer intrazonal). Acest proces devine mai complicat în cazul transferului interzonal, în care caz terminalul mobil traversează granița dintre două MAS-uri învecinate (figura 3.2). Aceasta presupune găsirea în scurt timp, cu ajutorul unei strategii de căutare cu convergență rapidă, a unei căi spre noul MAS convenabile din punct de vedere al costurilor și apoi stabilirea punctului de comutare. Pentru aceste procese de căutare și respectiv de alegere a unei căi noi există deja în literatura de specialitate o serie de propuneri [2][55][66][124][126][149][195][229] [230]. Caracteristicile lor vor fi în cele ce urmează sistematizate și categorizate.

Pentru discuțiile referitoare la procedeele de rerutare din cele ce urmează se poate defini un model al conexiunii ATM aparținând unui abonat (terminal) mobil (figura 3.3).



**Figura 3.3:** Segmentele fix și respectiv mobil ale unei conexiuni WATM

Modelul desparte conexiunea ATM în două segmente ce pleacă de la punctul de comutare COS înspre terminalul mobil respectiv înspre punctul terminus al conexiunii. Aceste segmente se împart, la rândul lor, în mai multe segmente VC (VC link), corespunzător nivelurilor ierarhice ale stratului ATM (figura 3.1). În cazul unui handover se redefinesc segmentele VC dintre terminalul mobil și punctul de comutare COS. Acestea se schimbă deoarece conexiunea terminalului se face de acum printr-un nou emițător respectiv prin MAS-ul alocat lui. În mod corespunzător

vom denumi în cele ce urmează acest segment al conexiunii virtuale "segment mobil". Între punctul de comutare COS și punctul terminus al conexiunii nu se petrec modificări ale rutei datorate mobilității terminalului ce declanșează procesul de transfer. De aceea vom numi în cele ce urmează acest segment al conexiunii "segment fix" (figura 3.3). Modelul prezentat în continuare nu face nici un fel de supoziții în ceea ce privește tipul de punct terminus pe care vrem să-l atingem: poate fi vorba în aceeași măsură de un terminal ATM fix sau de un terminal WATM mobil. În cazul din urmă însă punctul terminus se consideră ca fiind fix pe durata transferului. La implementare trebuie luat în considerare și cazul tranzacțiilor de handover simultane și generat un mecanism de prelucrare a acestora [20].

### **3.3.2 Căutarea căii și a punctului de comutare optim**

Procedeele de rerutare se bazează pe analiza segmentului mobil al unei conexiuni. Specificarea acestui segment implică alegerea unui punct de comutare COS. Pentru acest segment al unei conexiuni afectată de un transfer trebuie stabilită noua cale prin rețea, segmentele VC corespunzătoare și rezervate resursele necesare prin decizii estimative cu privire la conexiune. Segmentul mobil al unei conexiuni virtuale se modifică deci în mod semnificativ la fiecare transfer executat. Numărul și lungimea segmentelor VC din cadrul segmentului mobil precum și prefixele lor (VCI, VPI) se pot schimba odată cu schimbarea fiecărei celule.

#### **Rute statice**

Rutarea pentru segmentul mobil se poate face în mod static sau dinamic (Tabelul 3.1). În varianta statică se antecalculează rute prin rețea fie în mod permanent, prin măsuri de proiectare sau configurare fie orientat pe conexiune, la setarea acesteia, rute care sunt mai apoi selectate și utilizate în cazul unui transfer. Prin aceasta se cunosc de la bun început, în cazul în care avem de-a face cu o rută unică, partea mobilă și cea fixă a conexiunii.

Și în cazul rutelor alternative antecalculate se elimină procesul de căutare a unei noi rute prin rețea. În locul acestuia se face pur și simplu o alegere între mai multe rute ce stau la dispoziție, urmată sau precedată de procesul de alegere a punctului de comutare.



**Tabelul 3.1:** Metode de rutare pentru segmentul mobil

Procedeu	Definiție
Rutare dinamică	Căutare și alegere a căii prin rețea la momentul transferului
Rutare statică	orientată pe conexiune (connection oriented) Calcul asincron al căilor statice la momentul setării conexiunii și pe durata acesteia
permanentă	Setare permanentă de căi calculate în prealabil ce sunt activate și utilizate în momentul transferului

### **Rutare dinamică**

În cazul variantei dinamice este stabilită o nouă rută prin rețea spre MAS-ul actual de abia în momentul efectuării transferului. Acest proces poate fi controlat și limitat cu ajutorul unor condiții marginale. Cele mai importante dintre acestea sunt metricile ce stabilesc costul unei rute respectiv regulile de stabilire a graniței dintre segmentul fix și cel mobil (punctul de comutare COS). Alegerea rutei și a COS-ului prezintă și în acest caz o strânsă interdependență. Procesul de alegere a COS-ului reduce numărul de grade de libertate la stabilirea paletii de rute posibile. Pe de altă parte însă, procedeul de alegere a rutei poate conduce deja la stabilirea unică a punctului de comutare și prin aceasta la reducerea gradelor de libertate și în cazul alegerii COS-ului. Aceste interdependențe devin foarte clare în cele ce urmează când se vor prezenta mai întâi metodele de rutare dinamică iar mai apoi se vor discuta opțiunile de stabilire a punctului de comutare.

Cea mai simplă metodă de a stabili o rută end-to-end între MAS-ul curent și punctul terminus este cea în care nu există nici un fel de constrângeri marginale. Aceasta este, cu alte cuvinte, o încercare de a determina în mod global o rută optimă, adică o rută cu costuri convenabile. Nodul de comutație VC, până la care rutele au fost identice și de la care ele se despart, marchează granița dintre segmentele fix și respectiv mobil. Acest procedeu de rutare împiedică limitarea influenței transferului numai asupra unui perimetru local. O optimizare globală a căii



în timpul procesului de rerutare conduce la influențarea, datorată mobilității terminalului, a tuturor comutatoarelor VC de pe parcursul conexiunii.

Alternativ, se pot limita gradele de libertate în ceea ce privește punctul de comutare la căutarea rutei. Prin aceasta se reduce numărul de puncte terminus posibile din rețea pentru segmentul mobil. Procedeu de căutare a rutei calculează în aceste condiții o paletă de rute posibile între MAS-ul nou și punctele de comutare posibile COS. Punctele de comutare posibile sunt acele noduri VC din ruta actuală spre MAS-ul "vechi", care sunt în măsură de a exercita funcția de comutare.

Căutarea unei rute poate fi executată utilizând diverși algoritmi "clasici" provenind din domeniul rețelelor ATM fixe [16]. Procedeele de dirijare a traficului nu sunt în principiu definite în aceste rețele, existând implementări specifice de operator sau furnizor de echipament. Problemele apar în rețele care sunt echipate de mai mulți furnizori, fiind necesară stabilirea de comun acord de reguli cu privire la interconectare. Rerutarea în cazul unui transfer trebuie definită de o asemenea manieră, încât să nu existe limitări în privința alegerii procedeeleor de căutare a rutei respectiv dirijare a traficului. Procesul de căutare a rutei livrează ca rezultat, pe baza condițiilor marginale prestabilite, o paletă de căi posibile din care este aleasă în cadrul rerutării numai una singură și anume cea mai potrivită.

Numărul de grade de libertate la căutarea unei rute depinde de ordinea de succesiunea a celor două etape: căutarea sau alegerea rutei respectiv alegerea punctului de comutare. O alegere a COS-ului făcută în prealabil limitează numărul de căi potențiale, o alegere ulterioară măbind numărul lor. Alegerea în prealabil este de fapt o alegere explicită a COS-ului, pe când alegerea posterioară se face pornind din nodul de comutație de la care se despart cele două rute: "veche" și "nouă" .

Putem spune deci că gradele de libertate la alegerea COS-ului sunt determinate de metoda de alegere a rutei și invers. În cele ce urmează se vor discuta alternativele avute la dispoziție în cadrul acestui proces de selecție. Nu se permite ca punctul de comutare COS din figura 3.3 să fie static pe durata unei conexiuni. Din contră, el se aseamăna cu un fel de rolă peste care trece conexiunea și care poate fi alocată dinamic unui nod ATM, de-a lungul conexiunii, în momentul executării transferului. Această rolă poate fi alocată și în mod permanent, cu alte cuvinte static, unui nod de comutație ATM dotat corespunzător, în momentul setării

conexiunii. Pe deasupra, COS-ul mai poate fi creat și în mod permanent în cadrul topologiei rețelei (ACS din figura 2.6) în așa fel încât toate conexiunile ATM ale unei zone să posede un COS comun stabilit dinainte de setarea conexiunii și care să constituie punctul terminus pentru toate segmentele fixe ale acestora. În funcție de strategiile de alocare a acestei role se disting trei metode de determinare a punctului de comutare (tabelul 3.2).

**Tabelul 3.2:** Metode de determinare a punctului de comutare COS.

Procedeu	Definiție
Căutare dinamică	Fixare a punctului de comutare la momentul transferului
Procedeu cu ancoră orientată pe conexiune (connection oriented)	Fixare a punctului de comutare la momentul setării conexiunii și pe durata acesteia
permanentă	Setare permanentă a unui nod ancoră ca fiind nod de comandă a rerutării, identic pentru toate MT ale unei zone și consemnat în topologia rețelei.

### **Alegere dinamică a punctului de comutare**

În cadrul primului procedeu din tabelul 3.2 se schimbă în cazul unui transfer acel nod care inițiază comutarea. Ca urmare, se modifică nu numai segmentul mobil ci și cel fix. Acesta din urmă rămâne însă constant, odată ce COS-ul a fost determinat, pe întreaga durată a procesului de transfer, așa încât putem vorbi și pe mai departe de un segment fix. Metoda descrisă de determinare a punctului de comutare va fi denumită în cele ce urmează "căutare dinamică" [8][9][23][229][230].

Pentru implementarea ei s-au dezvoltat mai multe strategii [230]. Într-o primă etapă se poate calcula, independent de ruta curentă, o rută complet nouă prin rețeaua ATM spre punctul terminus, având ca punct de plecare noul MAS. COS-ul este în acest caz nodul de comutație din rețea de la care rutele diverg [128]. În cazul în care noua rută este cunoscută de către noul MAS, este posibilă crearea de grade

de libertate suplimentare. De exemplu se poate face o analiză a tuturor nodurilor rețelei din punctul de vedere al capacității lor de a se transforma în puncte de comutare. COS poate deveni acel nod care oferă ruta parțială spre noul MAS ce satisface anumite criterii de optimizare prestabilite. Unele din aceste criterii de optimizare pot fi:

- lungime totală optimă a conexiunii – noua conexiune (end-to-end) trebuie să fie mai scurtă cel mult egală cu cea veche;
- sincronizare optimă - căile parțiale dintre MAS-ul vechi, cel nou și COS trebuie să fie egale ca durată de parcurgere sau cu diferențe minime în ceea ce privește întârzierea pe calea de transmisie [229];
- optimizare a segmentului fix – lungimea maximă a segmentului parțial dintre COS și punctul terminus (refolosire maximă a segmentelor VC ale conexiunii) [229].

Lungimea unei conexiuni poate fi definită în acest context ca fiind lungimea absolută a căii de transmisie fizice. O definiție mult mai des întâlnită însă este cea indirectă, prin intermediul numărului de segmente VC pe care le cuprinde, ea fiind foarte utilă în estimarea intervalului de timp necesar pentru comutarea conexiunii pe timpul procesului de rerutare. Această metrică pentru lungimea conexiunii poate fi determinată numai după ce s-a încheiat procesul de căutare a unei rute noi. În cazul unui proces de căutare dinamică, alegerea COS-ului este posibilă numai împreună cu un procedeu de căutare a rutei respectiv de dirijare a traficului.

#### **Procedee cu ancoră (alegere statică a punctului de comutare)**

În cazul celui de-al doilea procedeu enumerat în tabelul 3.2, punctul terminus al segmentului fix al conexiunii virtuale este stabilit la setarea acestei conexiuni și rămâne constant pe toată durata acesteia. Nodul în cauză reprezintă un fel de ancoră pornind de la care se comută conexiunea spre punctul ei terminus activ la un moment dat. Categoria de care vorbim se poate denumi procedeu cu ancoră orientat pe conexiune, deoarece ancora este stabilită numai în momentul stabilirii conexiunii.

În al treilea caz din tabel se cunoaște deja înainte de setarea conexiunii punctul de comutare la handover, deoarece rolul COS-ului este preluat în mod

permanent de către un nod din rețea. Este vorba de un nod marcat corespunzător în topologia rețelei și care comandă procesele de rerutare pentru toate terminalele mobile din domeniul său de competență. Acest concept al unui punct de comutare permanent este denumit procedeu cu ancoră permanentă, el fiind des întâlnit în literatură [241][242][21][185][195]. Un exemplu de implementare se regăsește în rețelele de tip GSM, nodul fiind aici denumit Mobile Switching Center MSC [60].

Procedeele cu ancoră de stabilire a punctului de comutare se pot combina în mod liber cu procedeele statice sau dinamice de căutare a unei noi rute. O alegere implicită a COS-ului făcută după stabilirea paletii de rute noi nu e posibilă, deoarece punctul de comutare trebuie stabilit înainte de rerutare, el condiționând-o. De aceea este imposibilă determinarea unei rute globale optime. Procedeele cu ancoră au cu toate acestea avantajul limitării efectelor mobilității la un domeniu restrâns, clar delimitat, din cadrul rețelei, denumit domeniu de ancoră. În afara acestui domeniu nu mai sunt necesare funcții de mobilitate în nodurile de comutație aparținând rețelei. Pe deasupra, mai există avantajul reducerii latenței de handover și prin aceasta al unei influențe reduse a transferului asupra fluxului de date utile, avantaj datorat efortului de căutare relativ redus în cazul procedeeleor cu ancoră,.

### **3.3.3 Categoriile de bază de rerutare pentru handover**

Se poate face o clasificare a procedeeleor de rerutare pornind de la diversele combinații posibile ale procedeeleor de căutare și alegere a rutei respectiv de stabilire a COS-ului. În cele de urmează se va face distincția între patru categorii principale. În literatura de specialitate, care s-a ocupat de cercetarea sistematică a mecanismelor de rerutare, s-au identificat la început numai trei categorii distincte:

- restabilire completă (full reestablishment);
- restabilire incrementală (incremental reestablishment);
- restabilire bazată pe multicast (multicast-based reestablishment) [128].

În acest context s-a analizat un sistem compus dintr-un client și un server care comunică printr-o rețea bazată pe conexiuni. Procedeu de restabilire completă a conexiunii studiat în [128] prevede o întrerupere a acesteia și o restabilire completă de la un capăt la celălalt (end-to-end). Schema incrementală încearcă să

refolosească, pe cât posibil, ruta existentă prin rețea și să plaseze COS-ul cât mai aproape de terminalul mobil, pe când procedeul bazat pe multicast prevede existența a două rute concomitent active între COS și MT, stabilite prin stația de bază veche și respectiv nouă. Mecanismele de transfer, rerutare și comutare sunt privite în ansamblu și analizate ca atare pentru fiecare din cele trei categorii.

Ruta dintre terminalul mobil și punctul terminus, trecând prin stația de bază nouă, este calculată în fiecare din cele trei variante în mod separat pentru fiecare handover în parte. De îndată ce s-a stabilit ruta nouă, se caută punctul de comutare COS (dacă operația este necesară, cum este cazul în schema incrementală și în cea bazată pe multicast). O caracteristică a acestor procedee descrise în [128] o reprezintă faptul că rutele prin rețea sunt recalulate și noul COS este restabilit complet pentru fiecare handover. Se constată faptul că ele nu se deosebesc principial deloc între ele în ceea ce privește metoda de căutare a noii rute, diferind numai în privința metodei de comutare pe calea nouă. Totuși aceste contribuții au deschis calea spre metodele de rerutare din WATM.

Consecința a fost clasificarea în patru categorii de bază de procedee de rerutare în cazul unui transfer în rețele WATM [149][229][230]. Pentru primele trei s-a adoptat nomenclatura existentă [128] ele definind însă de acum numai partea referitoare la rerutare. La cele trei categorii enumerate mai sus s-a adăugat o a patra: prelungirea conexiunii (connection extension). Toate aceste patru categorii de bază au ca numitor comun faptul că nu impun un procedeu anume de căutare a rutei prin rețea. Ele stabilesc numai segmentul mobil și cel fix al unei conexiuni WATM-VC și prin aceasta implicit ruta parțială, pentru care trebuie căutată o alternativă prin rețea. În plus mai există și alte condiții impuse mecanismului de căutare a rutei și a momentului în timp de declanșare a acestuia. În tabelul 3.3 sunt prezentate cele 4 categorii de bază.

În figurile 3.4, 3.5 și 3.6 de pe paginile următoare este prezentată modificarea rutei unei conexiuni prin rețea la folosirea diverselor metode și în cazul analizei a două cazuri de handover diferite: handover intrazonal și handover interzonal.

Tabelul 3.3: Categoriile de bază de rerutare

Categorie	Definiție
Restabilire completă	Terminarea și stabilirea din nou a conexiunii ATM în cazul unui transfer
Prelungirea conexiunii/ lanț de conexiuni (connection extension/ chaining)	Punctul de comutare COS este întotdeauna MAS-ul local sau stația de bază RAP. De acolo se prelungesc conexiunile terminalului mobil spre noul RAP
Restabilire incrementală	Punctul de comutare poate fi liber ales (tabelul 3.2), pornind de la acesta se va căuta o rută prin rețeaua ATM spre noul RAP și se va comuta conexiunea
Restabilire bazată pe multicast	Join Tratarea problematicii restabilirii conexiunii cu ajutorul metodelor arborelui multicast (join, detach)  Group Stabilirea unui arbore multicast spre toți candidații de handover posibili (RAP)

### Restabilire completă

Soluția cea mai simplă, care nu necesită modificări în nodurile de comutație ATM o reprezintă restabilirea completă a conexiunii (figura 3.4).

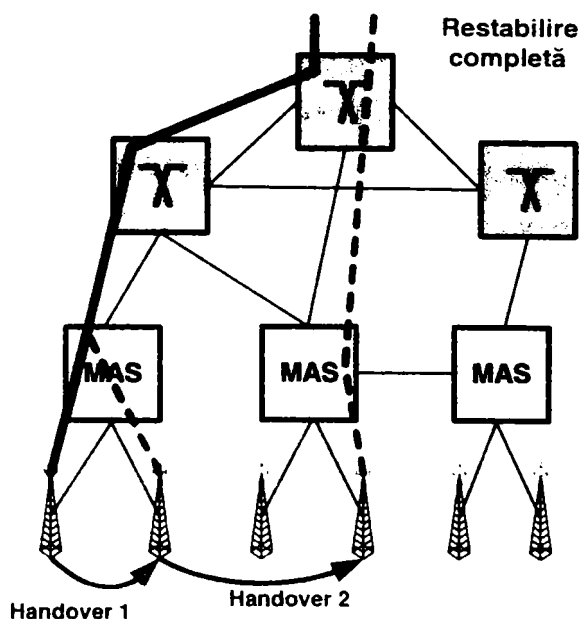


Figura 3.4: Restabilire completă

Atunci când este imposibilă continuarea unei conexiuni prin stația de bază activă în acel moment, ea este terminată și restabilită prin stația de bază vecină ce oferă un nivel de recepție suficient de bun [128]. Pentru comanda conexiunii respectiv căutarea și alegerea rutei noi pot fi folosite mecanisme și protocoale din rețeaua fixă. O adaptare specială a lor la terminalul mobil nu este necesară în cazul alegerii rutei noi. Dezavantajul îl constituie faptul că la handover este afectată întreaga conexiune și că nodul de la punctul terminus trebuie să cunoască și înțeleagă mecanismul de comandă al transferului.

Procedeul prezintă dezavantajul unui efort mare de semnalizare și al unei degradări considerabile a calității conexiunii. Întreruperea ca atare este prelucrată în straturile superioare ale protocolului, ca urmare aplicațiile ATM standard nu mai pot fi rulate în acest scenariu, fiind necesare aplicații special adaptate la mobilitate, capabile în cazul unui transfer de a termina și restabili conexiuni complete. Din cauza acestor dezavantaje importante enumerate, procedeul are numai o valoare teoretică și nu va fi discutat în cele ce urmează.

### **Prelungirea conexiunii**

Procedeul cu prelungirea conexiunii (connection extension) a fost dezvoltat cu intenția de a minimiza segmentul de rerutare afectat de transfer și deci indirect influența acestuia asupra calității conexiunii. Această variantă mai este denumită și variantă cu lanț de conexiuni (chaining) [207]. Utilizând această metodă în cazul unui handover, conexiunile unui terminal mobil sunt prelungite de la punctul curent spre punctul nou de acces la rețea. Această prelungire se poate realiza pornind de la stația de bază RAP (figura 3.5.a, [124][128][207]) sau de la nodul de comutație ATM local cu suport al mobilității MAS (figura 3.5.b, [195]). În primul caz se presupune faptul că stațiile de bază posedă funcții de comutație respectiv instanțe ale protocoalelor de semnalizare pentru comanda și controlul transferului precum și o matrice de comutare ATM. Dacă, prin adăugarea tuturor acestor funcții, stația de bază devine prea complexă, atunci comutarea trebuie să aibă loc în MAS. Schema cu prelungirea conexiunii are avantajul că nu e necesară căutarea unui punct de comutare în rețea, COS-ul fiind întotdeauna în mod automat nodul local de comutație ATM cu suport de mobilitate.



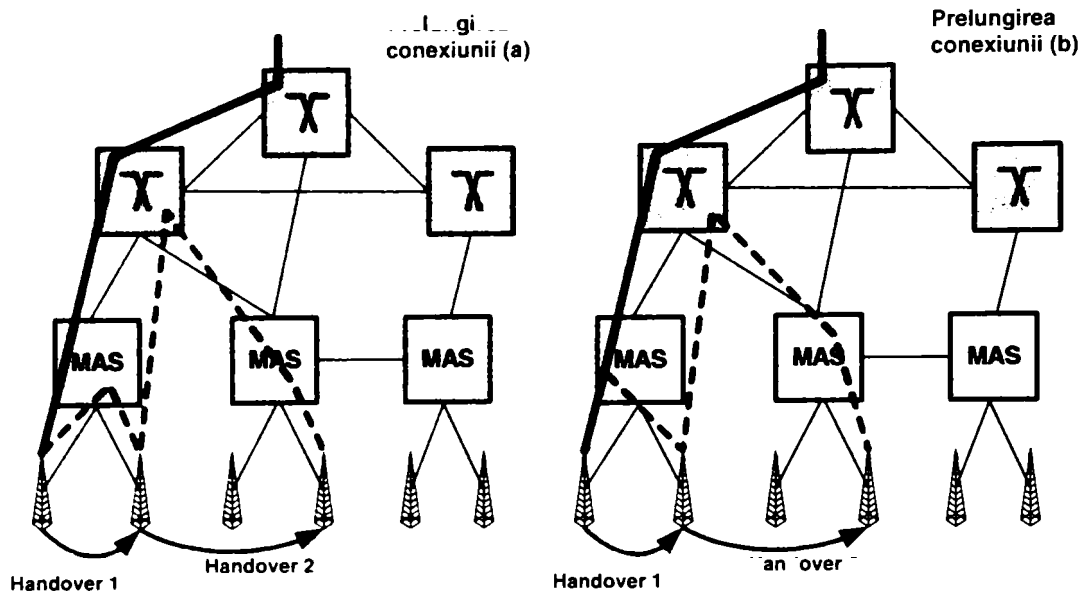


Figura 3.5: Prelungirea conexiunii (lanț de conexiuni)

În cazul variantei (a) a acestui procedeu nu are loc o comutare între cele două căi parțiale divergente ci o prelungire a conexiunii plecând de la interfața rețelei spre terminalul mobil. Prelungirea căii vechi cu un tronson nou are avantajul unei influențe reduse la minim asupra fluxului de date utile, singura mărime afectată fiind durata de parcurgere a căii de către celulele ATM, durată care se mărește în mod corespunzător. Comutarea între cele două căi parțiale este cu atât mai necesară în cazul variantei (b), având însă avantajul flexibilității mari în alegerea noii căi parțiale (figura 3.5).

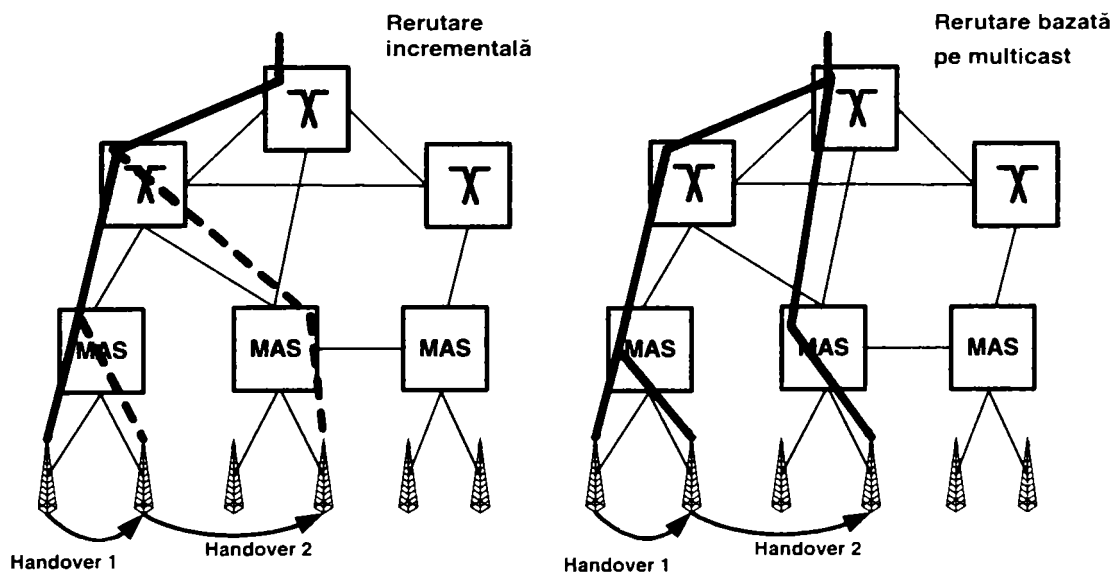
Dezavantajul lanțului de conexiuni constă în prelungirea duratei de parcurgere a căii respectiv în creșterea numărului de transferuri pentru o durată constantă, ceea ce conduce în mod inevitabil la o întârziere pe calea de transmisie din ce în ce mai mare respectiv la o ineficiență mărită a rutelor. Pentru a înlătura acest dezavantaj, acestea pot fi optimizate într-o etapă ulterioară, fără a interacționa cu terminalul mobil [5][55][195][207]. Pe deasupra, trebuie luate măsuri de prevenire a formării de bucle de conexiune [5]. După cum se poate observa, crearea de lanțuri de conexiuni necesită un efort suplimentar de coordonare a transferului respectiv a rerutării precum și pentru optimizarea ulterioară a rutelor. Este imperios necesar a fi evitată o optimizare ce are ca rezultat o încrucișare de căi respectiv care împiedică prin desfășurarea ei executarea unui transfer necesar la un moment dat.



Procesul de optimizare ulterioară a rutei este inițiat și comandat de MAS-ul local. În cadrul acestuia este stabilită o rută de eficiență mai ridicată și este ales punctul de comutare corespunzător. Comutarea dintre MAS și COS poate fi realizată fără pierderi în rețea, prin stabilirea în avans a unei rute alternative [62]. Prin aceasta se asigură posibilitatea realizării unei optimizări fără întreruperea fluxului de date utile și deci fără a afecta fiabilitatea conexiunii. Calitatea serviciilor este cu toate acestea influențată în ceea ce privește parametrii de întârziere pe cale atât la transferul propriu-zis cât și în cadrul procesului de optimizare care îi urmează. Consumul de resurse în cazul procedurii cu lanț de conexiuni este mărit, depinzând bineînțeles de topologia rețelei (figura 3.5). Gestiunea resurselor în rețea se înrăutățește, cel puțin până la terminarea procesului de optimizare.

### **Rerutare incrementală**

Dezavantajul unui consum mărit de resurse în rețea și prin aceasta al unei micșorări a eficienței poate fi înlăturat prin efectuarea optimizării rutei concomitent cu transferul propriu-zis. Un astfel de procedeu caută să mențină incremental, odată cu fiecare transfer, o rută spre punctul curent de accesare a rețelei cât mai optimă cu putință. Această metodă este denumită “metodă cu restabilire incrementală” (incremental reestablishment, figura 3.6).



**Figura 3.6:** Rerutare incrementală și rerutare bazată pe multicast

În principiu ea reprezintă o dezvoltare a procedurii cu lanț de conexiuni (variantea b din figura 3.5) prin adăugarea posibilității unei alegeri mai flexibile a punctului de comutare din rețea. Metoda este foarte versatilă în ceea ce privește topologiile diverselor rețele, având ca rezultat alegerea de rute eficiente deci cu costuri mici. Concomitent cu fiecare transfer efectuat, se desfășoară o operație de căutare a unei noi căi, prin care este stabilit un nou segment mobil între noul RAP și punctul de comutare din rețea, punct la care sunt unite segmentele fix și mobil ale conexiunii. Metodele de stabilire a punctului de comutare au fost enumerate în tabelul 3.2.

Dacă avem de-a face cu o rerutare incrementală, atunci alegerea unei căi noi se referă desigur numai la segmentul mobil. Probabilitatea ca ruta optimă aleasă să nu se deosebească în mare măsură de ruta veche este în general foarte mare. În acest caz poate fi refolosită, pentru rerutarea incrementală, o mare parte a rutei vechi iar punctul de comutare este aproape de RAP-ul / MAS-ul actual.

Avantajul esențial al rerutării incrementale este optimizarea inerentă a căii, care se efectuează odată cu fiecare transfer. Formarea buclelor este împiedicată prin însăși modul în care acest procedeu este definit. O optimizare ulterioară nu mai este necesară și prin urmare nici efortul de coordonare suplimentar dintre aceasta și transferul propriu-zis care o precede. Flexibilitatea deosebit de mare a acestui procedeu îl face să se preteze a fi utilizat atunci când sunt impuse anumite condiții suplimentare externe ca de exemplu puncte de comutare fixe și îl fac de asemenea adaptabil la diversele topologii de rețea existente.

#### **Rerutare bazată pe multicast**

Acest tip de rerutare necesită alocarea de foarte multe resurse în rețea [1][2][128][187][229][258][259][260]. Principiul pe care se bazează este cel al arborilor multicast. Pentru folosirea tehnicii multicast în cazul transferului conexiunii există două variante [229]: multicast-join și multicast group.

Rerutarea prin procedeu multicast-join utilizează procedurile de semnalizare pentru anunțarea respectiv retragerea unui terminal dintr-o conexiune multicast [192]. Conexiunea mobilă de tip ATM este privită în downlink ca fiind un arbore multicast fără nici un fel de ramificații. În momentul detectării unei situații de transfer, terminalul mobil cere, prin intermediul unei tranzacții JOIN, crearea unei noi

ramificații în arborele multicast, ramificație prin care să treacă conexiunea spre noua stație de bază. Această ramificație este stabilită în paralel cu vechea cale parțială, astfel încât celulele ATM ce constituie fluxul de date utile transmise sunt duplicate în COS până în momentul deactivării, prin intermediul tranzacției LEAVE, a ramificației către RAP-ul vechi. După completarea tranzacțiilor, funcția multicast este complet deconectată. Procedul multicast-join este prin aceasta în esență un procedeu de rerutare incremental la care este activată o funcție multicast pe durata comutării de pe calea parțială veche pe cea nouă. În cealaltă direcție, pe uplink, este întotdeauna numai o singură cale de transmisie activă [128].

În cadrul procesului de pregătire a unui transfer, procedul multicast-group stabilește un întreg arbore multicast spre țelurile potențiale de transfer (figura 3.6). În uplink există și aici numai un singur VC pentru fiecare conexiune, a cărui rută poate fi însă trasată paralel cu arborele multicast. Terminalul mobil poate să se înregistreze la stația de bază nouă, în cazul unui transfer, fără a lua alte măsuri suplimentare. În momentul transferului nu mai este necesară o rerutare în sensul strict al noțiunii. Exceptând consumul mare de resurse, metoda prezintă avantaje esențiale în ceea ce privește calitatea serviciilor unei conexiuni. În literatura de specialitate se întâlnesc mai multe propuneri de procedee aparținând acestei categorii.

Un procedeu apărut timpuriu este cel al arborelui de conexiuni virtual (virtual connection tree, [2]), în cadrul căruia nu se stabilește un arbore multicast real ci o structură bidirecțională de conexiuni virtuale. Căile sunt dinainte rezervate dar funcția multicast nu este activată. Analog cu cele discutate în cazul arborelui multicast, nu mai este necesară căutarea de noi căi în timpul operației de transfer. VCC-urile stabilite și resursele rezervate anterior sunt pur și simplu activate. O singură ramificație a arborelui este prin aceasta utilizată activ la un anumit moment dat. Datorită existenței rutelor precalculate aparținând VCT-ului, transferul poate fi inițiat cu o latență relativ mică. Din nefericire acest tip de transfer are o oarecare influență asupra fluxului de date utile, dat fiind faptul că, la un moment dat, numai o singură ramificație a VCT-ului este folosită în mod activ.

Pentru a înlătura complet aceste influențe s-au elaborat procedee de transfer bazate pe un multicasting real. În direcția downlink se stabilește un arbore multicast ce conține ramificații către destinațiile posibile ale unui transfer. Funcția multicast

este activată, în nodurile de comutație ale rețelei ce pot prelua rolul de COS, pentru conexiunile afectate de acest transfer. Fluxul de date utile este transmis prin aceasta către toți candidații de transfer încă înainte de a se recepționa aprobarea de executare a handoverului. După comandarea executării transferului, terminalul mobil poate căuta stația de bază cea mai potrivită și comuta pe aceasta fără a mai fi nevoie de a coordona această operație cu nodul ATM corespunzător. La terminarea cu succes a transferului se pot deactiva ramificațiile ce nu mai sunt necesare, iar conexiunea în downlink rămâne neafectată (presupunând folosirea unor mecanisme adecvate de sincronizare). Aceasta permite executarea unui transfer foarte rapid și fără întârzieri fapt care face ca procedeul să fie predestinat pentru aplicații în timp real. Dezavantajele lui constau în efortul suplimentar de semnalizare necesar pentru administrarea arborelui multicast și în consumul mult mai mare de resurse pentru transmisia de date utile în acest arbore în comparație cu metoda incrementală. Pe deasupra, cele două direcții de transmisie, uplink și downlink, sunt tratate în mod inegal. În timp ce transmisia de date în downlink se desfășoară în mod continuu, în uplink este necesară folosirea unei componente de rerutare, prin analogie cu cazul procedeului incremental. Aceasta mărește efortul de semnalizare și crește complexitatea comandării și controlului transferului.

#### **3.3.4 Rerutare proactivă și reactivă**

Categoriile de bază de rerutare descrise mai sus reprezintă de fapt o combinație între procedee de căutare a unei noi căi și cele de alegere a punctului de comutare. Se mai poate face o categorizare și în funcție de momentul în timp la care se desfășoară cele două procese de mai sus, putând distinge între procedee reactive și procedee proactive (tabelul 3.4).

##### **Rerutare reactivă**

Procedeele de rerutare reactivă stabilesc în momentul executării transferului o nouă cale parțială pentru segmentul mobil. De îndată ce se determină necesitatea executării unui transfer, se trece la identificarea țelului transferului și la rerutarea conexiunii spre acesta. Implicit, funcțiile aferente ce afectează conexiunea cum ar fi căutarea unei noi căi pentru segmentul mobil, alegerea acestuia, alegerea punctului de comutare și în final stabilirea conexiunii de-a lungul rutei parțiale noi, trebuiesc

executate în timp real, pe durata transferului. Din această cauză, procedeele reactive au o pondere însemnată în cadrul bugetului total de timp al handoverului. Este vorba în special de latența transferului, care este influențată de procesul de rerutare propriu-zis. Toate combinațiile de procedee de căutare a unei noi căi respectiv de alegere a unui COS se pretează în principiu la a fi folosite în cadrul unei metode reactive de rerutare. Numai procedeele bazate pe multicast sunt mai puțin folositoare, deoarece au ca urmare numai un consum mărit de resurse și la un efort mărit de semnalizare, prin faptul că țelul este deja cunoscut la momentul alegerii unei noi căi, fără a aduce cu sine un câștig de exemplu sub forma de accelerare a procesului de transfer.

**Tabelul 3.4:** Categorizare ulterioară a procedeelelor de rerutare

Categorie	Definiție
Rerutare reactivă	Funcțiile de comandă și control (alegerea COS-ului, căutarea și alegerea căii) sunt executate în momentul transferului
Rerutare proactivă orientată pe conexiune	Țelurile potențiale pentru un transfer sunt anticipate în momentul setării conexiunii; alegerea COS-ului, căutarea și alegerea căii sunt efectuate în momentul setării conexiunii
locală	Situații potențiale de transfer sunt anticipate, deasemenea și țelurile potențiale; alegerea COS-ului, căutarea și alegerea căii sunt efectuate înainte de a se iniția transferul.

### **Rerutare proactivă**

Metodele proactive de rerutare încearcă să minimizeze latența transferului prin parcurgerea în avans în loc de în timp real a unor etape importante din cadrul procesului de rerutare, cum ar fi: căutarea unei noi căi, alegerea punctului de comutare, stabilirea segmentelor VC corespunzătoare. În cazul metodei proactive, candidații de transfer sunt identificați dintre stațiile de bază învecinate și pentru aceste țeluri potențiale sunt determinate imediat, înainte de a ne afla într-o situație

iminentă de transfer, căi și puncte de comutare. Stabilirea paletei de căi potențiale se poate face orientat pe conexiune, în momentul setării acesteia și pentru toată durata ei. Această metodă este, după cum se vede, foarte complicată și deci neeconomică. Din această cauză ea se pretează numai pentru rețele locale, relativ mici respectiv cu un număr mic de noduri. O metodă derivată cu o scalare mai bună este aceea prin care sunt determinate, plecând de la poziția momentană, țelurile potențiale pentru transferul imediat următor, iar rerutarea este pregătită într-o etapă proactivă și locală imediat următoare.

Odată aleasă în mod proactiv calea nouă, se trece la stabilirea de segmente VC pentru potențialele noi segmente mobile ale conexiunii. Pentru aceasta ne stau la dispoziție două alternative:

- Ruta cea mai probabilă

Această variantă prevede stabilirea unei conexiuni parțiale pentru segmentul mobil numai de-a lungul rutei spre candidatul de transfer cu probabilitatea cea mai ridicată. Dacă totuși în final este aleasă o altă stație de bază RAP ca și țel pentru handover, atunci trebuie să existe posibilitatea de a se revizui decizia anterioară, pentru a comuta conexiunea spre țelul final ales (Crankback).

- Arbore de conexiuni

În cazul în care este necesară o desfășurare performantă a transferului și deci nu se poate accepta pasul înapoi ("crankback") descris mai înainte, atunci se pot stabili segmente VC către toate țelurile potențiale de transfer. În acest fel se stabilește un arbore de conexiuni parțiale pornind din punctul de comutare către toate aceste țeluri potențiale. La transferul propriu-zis se alege una din aceste conexiuni spre segmentul mobil, ea fiind unită prin comutare cu segmentul fix.

Procedeele proactive prezintă un consum ridicat de resurse din rețea, reușesc însă să realizeze un transfer cu o latență foarte redusă. Prin faptul că noile segmente sunt setate în prealabil, există un interval de timp de coexistență a celor două segmente mobile, cel vechi și cel nou, ale conexiunii. Transferul se desfășoară deosebit de simplu și rapid prin simpla comutare între cele două segmente dinainte "pregătite".

### **Forme mixte**

Pe lângă procedeele reactive respectiv proactive mai pot exista și forme mixte, care combină în diverse grade consumul de resurse și latența transferului. Partea proactivă a procedeeului se compune dintr-o căutare planificată, cu previziune, a căii, fără însă a seta vreun segment VC. Componenta reactivă contribuie la alegerea definitivă a stației de bază și la stabilirea și comutarea noului segment mobil aflat de-a lungul căii calculate anterior, în momentul efectuării transferului fiind necesară numai o rutare finală și activarea noii conexiuni parțiale. Procedeele care se pot încadra în mod deosebit în această categorie sunt cele cu ancoră cu punct de comutare fix și dirijare statică a traficului.

#### ***3.3.5 Comutarea căilor parțiale***

După finalizarea tuturor etapelor de căutare a rutei și setare a unui nou segment mobil, acesta trebuie cuplat cu segmentul fix iar vechiul segment mobil trebuie deactivat. Procesul este de fapt un proces de comutare care se desfășoară în punctul de comutare COS și care încheie procedura de rerutare. Desigur că este necesară în acest context o coordonare între COS și MAS, pe timpul transferului executat pe interfața radio de la o stație de bază la alta, pentru a livra fluxul de date utile pe cât posibil fără întrerupere. Dacă transferul se execută prea repede, se pot pierde celule ce se află încă în tranzit pe calea veche, iar dacă se întârzie executarea lui, atunci iau naștere pauze nedorite în fluxul de date utile, pauze care îi modifică proprietățile. La comutare trebuie realizată în principal o actualizare a conținutului tabelului de rutare al nodului de comutație și prin aceasta a setării matricei de comutație. Acest lucru se poate realiza în trei variante diferite, funcție de implementarea și funcționalitatea nodului [207] :

- comutare exclusivă - permite existența unei singure rute parțiale active la un moment dat, așa încât datele vechi sunt șterse din tabel înainte de a se completa datele noi;
- comutare concomitentă - noile date sunt introduse înainte de a șterge datele vechi, așa încât ambele căi parțiale sunt, pentru o scurtă perioadă de timp, active, permițând minimizarea perioadei de timp de întrerupere;



- comutare “atomară” – operație de comutare indivizibilă ce șterge datele vechi și le introduce pe cele noi.

Variantele enumerate au o influență deosebit de mare asupra fluxului de celule ATM al conexiunii de date utile. În primul caz este deactivată ruta parțială veche, setată din nou matricea de comutație a COS-ului și în final activată calea parțială nouă, această înșiruire de operații producând o scurtă întrerupere a conexiunii, timp în care nu se pot transmite date utile, astfel încât este posibil și chiar probabil ca să fie rejectate celule ATM în COS . Prin aceasta crește frecvența de pierdere a celulelor pentru o conexiune dată. Cea de-a doua variantă, cea a comutării concomitente, încearcă să înlăture acest dezavantaj prin setarea rutei noi înainte de deactivarea celei vechi. Astfel ambele rute sunt active pentru o scurtă perioadă de timp, ceea ce poate conduce la duplicări nedorite de celule ATM. De aceea, varianta care pare a fi cea mai potrivită este cea atomară, care realizează comutarea într-o singură etapă indivizibilă. Atâta timp cât acest procedeu poate fi realizat rapid, nu se pierd celule, iar duplicate nu pot apărea deoarece avem o singură rută activă la un moment dat. Dezavantajul acestei variante constă în implementarea dificilă, dependentă de existența în nodurile de comutare ale rețelei a unor matrici de comutație ATM adecvate din punct de vedere al arhitecturii și funcționalității.

La celălalt capăt al segmentului mobil, terminalul mobil trebuie să execute mai multe operații importante: deactivarea căilor parțiale vechi și a legăturii radio corespunzătoare, executarea transferului, înregistrarea la stația de bază nouă și în final restabilirea conexiunii pe noua cale parțială. Și la nivel de terminal mobil se constată o întrerupere a conexiunii, timp în care nu se pot transmite celule ATM, durata acesteia nemaifiind însă influențată în principal de mecanismul de rerutare, ci de proprietățile interfeței radio.

Componentele principale ale rerutării (căutarea rutei, alegerea ei, stabilirea punctului de comutare) influențează în principal latența transferului și prin intermediul acesteia durata totală a procesului, pe când comutarea are o influență negativă asupra fluxului de celule ATM (pierderi de celule, duplicate, schimbări ale ordinii de transmitere a celulelor, schimbări sau oscilații ale întârzierii pe calea de transmisie) și prin aceasta asupra calității serviciilor. Proprietăți inerente ale stratului ATM din rețeaua fixă nu mai pot fi garantate într-o rețea mobilă, de aceea este



necesară, dacă calitatea serviciilor o cere, definirea de măsuri de protecție pentru realizarea unui transfer cu pierderi mici. Aceste măsuri aplicate la nivel de celulă ATM nu mai fac parte din procedeele de rerutare și vor fi discutate mai departe în capitolul 4.

### **3.3.6 Aspecte speciale ale rerutării**

Un abonat poate poseda la un moment dat, în cadrul unei rețele ATM, o multitudine de conexiuni simultan active. Aceasta înseamnă că, în cazul abonaților mobili, la efectuarea unui transfer trebuie comutată nu numai o singură conexiune ci pe cât posibil toate conexiunile active ale unui terminal mobil, respectând criteriile de calitate impuse la setarea lor.

Procedeu de transfer simultan pentru mai multe conexiuni este denumit “transfer în grup”. Un procedeu anumit de rerutare trebuie să suporte sau cel puțin să facă posibilă executarea unui transfer în grup. Protocoalele de transfer (capitolul 2.3.3) iau în considerare și cazul acestui transfer în grup prin faptul că nu permit decât o tranzacție de handover pentru toate conexiunile unui terminal mobil. Cu alte cuvinte, semnalizarea pe interfața radio nu se face pentru fiecare VC în parte.

Terminalul mobil transmite în mesajul de cerere de handover (figurile 2.8 – 2.11) lista acelor conexiuni ce trebuie comutate spre stația de bază nouă. Rețeaua este răspunzătoare de găsirea și setarea, pentru fiecare conexiune în parte, a unei noi rute parțiale pentru segmentul mobil corespunzător, împreună cu alocarea resurselor necesare. Acest proces trebuie să se desfășoare, în mod ideal, cât mai rapid, eficient și în special în mod concomitent pentru toate conexiunile abonatului, deoarece tranzacția de handover se consideră numai în acel moment încheiată, în care operația de rerutare a tuturor conexiunilor este terminată. Un alt criteriu important pentru orice procedeu de rerutare este de fi scalabil pentru mai multe conexiuni.

Scalaritatea se poate realiza mai ușor dacă, la fel ca și în cazul transferului, nici procesul de rerutare în rețea nu se realizează individual pentru fiecare VC. Procedeele de rerutare ce se pretează cel mai bine la scalaritate sunt cele ce dirijează toate conexiunile unui terminal mobil pe aceeași rută, trecând prin același punct de comutare. În acest caz, pentru a controla transferul tuturor conexiunilor

unui terminal mobil, este necesară pentru rerutare numai o coordonare între MAS-ul local și punctul de comutare COS. Din motive de management al traficului este însă câteodată necesar și chiar util să se aleagă căi diferite pentru clase de servicii diferite (pentru a folosi de exemplu în mod eficient multiplexarea statistică), în care caz rămâne la dispoziție, în scopul reducerii complexității transferului în grup, numai opțiunea alegerii unui COS comun tuturor conexiunilor.

Procedeele cele mai eficiente din punct de vedere al transferului în grup sunt cele ce folosesc procedee de rerutare cu ancoră fixă și rute statice, deoarece componenta din efortul de semnalizare datorată conexiunilor VC este redusă la minim. Tot ce rămâne a fi setat este conexiunea parțială împreună bineînțeles cu deconectarea celei vechi. Efortul necesar pentru căutarea căii și alegerea COS-ului este independent de numărul total de conexiuni.

### 3.4 Procedeu nou și eficient de rerutare

În cadrul paragrafelor anterioare s-a discutat modul de proiectare și factorii ce influențează procedeele de rerutare. Din această analiză se pot deduce următorii factori ce descriu eficiența unui procedeu de rerutare:

- latența transferului
- costurile rutării.

După cum s-a putut observa anterior, acești factori sunt în parte contradictorii, deoarece calculul unei rute optimale din punct de vedere al costurilor durează mai mult timp decât cel al unei rute mai puțin complexe, calculată folosind un procedeu mai rapid sau cu scalaribilitate mai bună. Pentru a stabili un procedeu de rerutare performant trebuie acceptat și luat în considerare un consum mărit de resurse din rețea.

În cele ce urmează se va simplifica evaluarea eficienței rerutării la analiza latenței transferului. Un procedeu este considerat cu atât mai eficient cu cât latența transferului conexiunii este mai mică. Consumul de resurse în cazul unui anumit procedeu se consideră acceptabil dacă se reduc sau chiar minimizează prin acesta

influențele exercitate asupra fluxului ATM de date utile. Privită dintr-o altă perspectivă, considerând eficiența constantă, se poate analiza gestiunea resurselor.

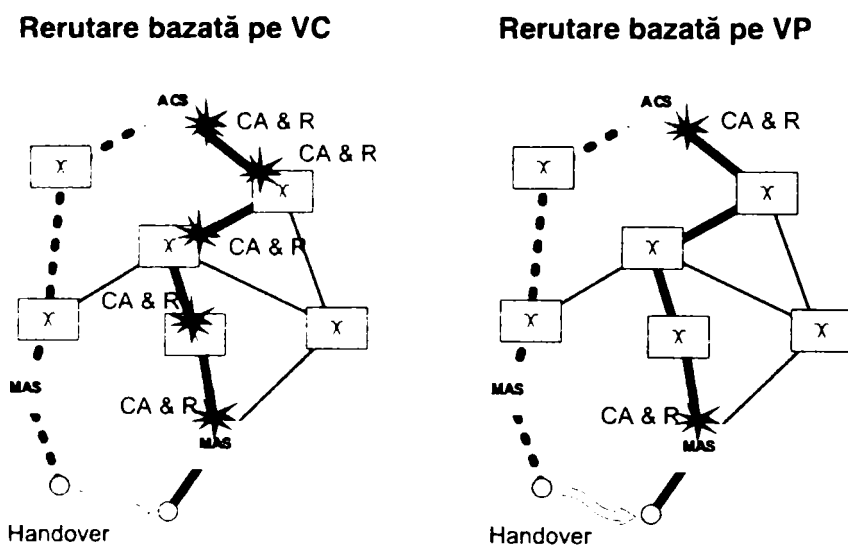
Conceptul căilor virtuale poate fi utilizat pentru a realiza o comandă a transferului cu o latență foarte redusă respectiv pentru o dirijare flexibilă a traficului. El se pretează prin caracteristicile sale de dirijare a traficului și pentru a fi utilizat în a comanda transferul într-o rețea de tip WATM și prin aceasta pentru rerutarea ce se execută în cazul unui handover. În cele ce urmează va fi prezentat un concept bazat pe căi virtuale prin care se atinge o valoare scăzută a latenței transferului în condițiile unei gestiuni constant eficiente a resurselor din rețea. Efectele benefice de proactivitate ale rerutării sunt folosite prin introducerea unei structuri ramificate de căi virtuale. Acest arbore de căi VP stă la dispoziția tuturor terminalelor mobile așa încât nu mai este necesară rezervarea multiplă de capacități pentru una și aceeași conexiune de date utile, în acest mod îmbunătățindu-se considerabil gestiunea resurselor în rețea.

#### **3.4.1 Rerutare bazată pe VC sau VP**

Cu ajutorul căilor virtuale VP se pot stabili rute precalculate în rețea, care fac posibilă o rerutare bazată pe căi statice. Astfel ia naștere, în combinație cu un punct fix de comutare, un procedeu de rerutare cu ancoră permanentă și căi statice. Funcțiile de transfer ce sunt necesare a fi executate în timp real se limitează, în cadrul acestei categorii (vezi și paragraful 3.3.2), la stabilirea unei noi conexiuni parțiale pentru segmentul mobil al fiecărei conexiuni, de aceea și contribuția rerutării la latența transferului este destul de mică. Principiul de bază al rerutării bazate pe VP este prezentat în figura 3.7.

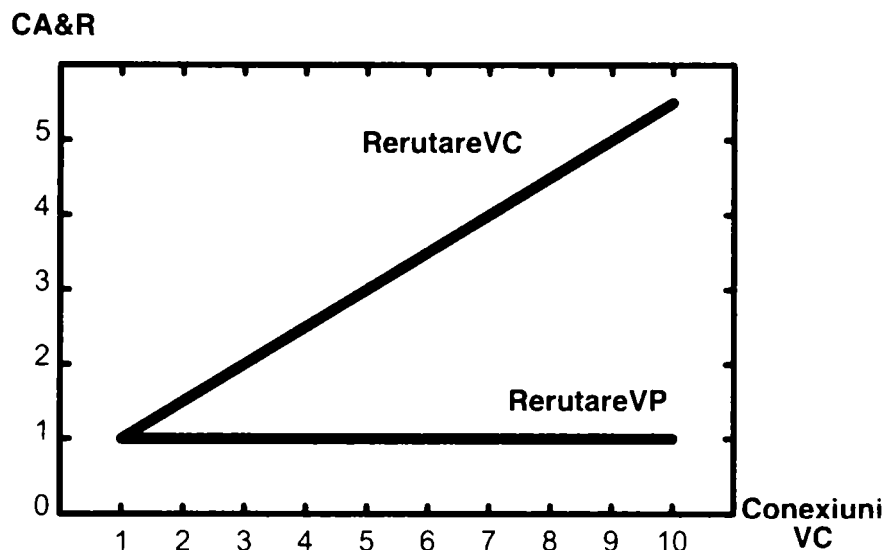
Toate nodurile ATM din rețea lucrează în absența căilor virtuale ca și noduri de comutare VC. În cazul unui handover trebuie căutată, pentru fiecare conexiune a unui terminal mobil, o rută prin rețea, urmată de luarea deciziei de acceptare a acestei noi conexiuni în fiecare nod de comutare de-a lungul acestei rute iar în final stabilită noua conexiune parțială pentru segmentul mobil (call admission and routing table update CA&R). Timpul total necesar pentru executarea acestor operații are o contribuție majoră la latența transferului, contribuție ce poate fi micșorată prin introducerea de căi virtuale între un nod de comutare ancoră ACS și nodul ATM cu

suport al mobilității MAS din domeniul său de influență (domeniu de ancoră). Prin aceasta se unesc segmentele de comutație singulare dintre ACS și MAS, din punct de vedere al planului VC, într-un segment unitar VC, care reprezintă partea de conexiune dintre ACS și COS a segmentului mobil al conexiunii. Ca urmare, în cazul unei rerutări bazate pe VP comparativ cu cazul uneia bazate pe VC, numărul de funcții ce trebuie executate în cazul unui transfer este mult mai mic. Câștigul exprimat în efort de comutare în rețea normal este dependent de numărul de segmente VC din segmentul mobil și prin aceasta de topologia rețelei, dependență ce este prezentată în figura 3.8.



**Figura 3.7:** Rerutare bazată pe VC sau VP

Pentru rerutarea bazată pe VP se constată un efort constant de preluare a conexiunii și setare a matricii de comutare pe când, în cazul rerutării bazate pe VC, acesta crește proporțional cu numărul de segmente VC per segment mobil. Această reprezentare este simplificată deoarece nu s-au luat în considerare resursele necesare pentru alegerea punctului de comutare respectiv pentru căutarea unei noi căi. În cadrul rerutării bazate pe VC, consumul mărit de resurse la transfer poate fi diminuat prin rezervarea proactivă (și anume înainte de handover) de capacități în planul VC.



**Figura 3.8:** Efort de comutare în rețea normal pentru segmentul mobil

### 3.4.2 Concept de bază al unei arhitecturi de rețea WATM bazate pe VP

În cele ce urmează se va prezenta conceptul de bază al unei rerutări bazate pe căi virtuale VP. Țelul urmărit este de a concepe un procedeu de rerutare eficient și cu latență scăzută pentru rețelele ATM cu acces fără fir și abonați mobili.

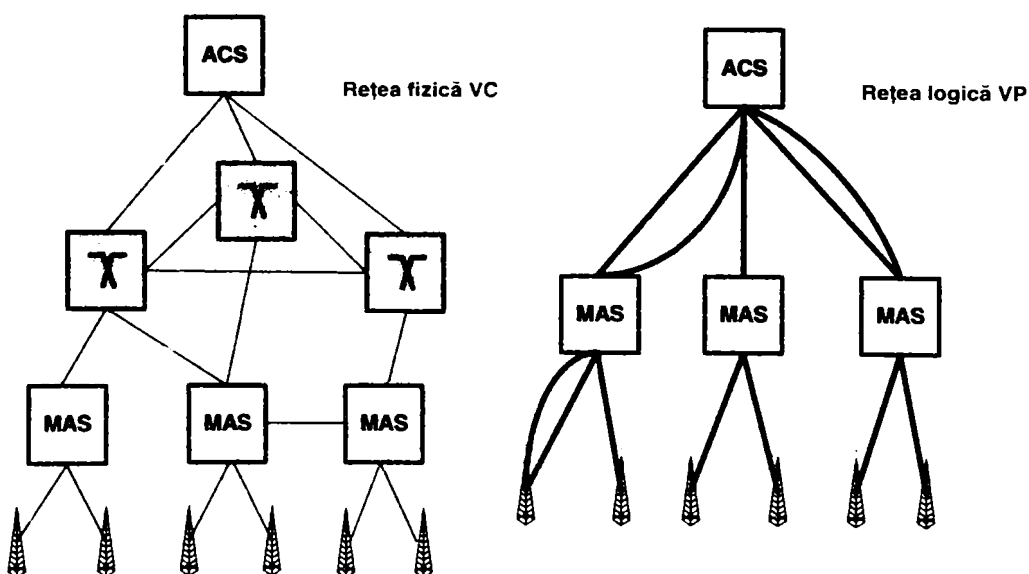
Rerutarea bazată pe căi virtuale VP aparține categoriei mixte proactivă-reactivă (vezi paragrafele 3.3.3 și 3.3.4). În principal se va stabili în cele ce urmează un procedeu de rerutare cu ancoră având la bază conceptul de căi virtuale, acesta prezentând valori optime ale latenței de transfer obținute prin introducerea, într-un anumit domeniu de handover, a unei subdiviziuni logice, bazată pe VP, a rețelei [242][243]. Pe deasupra, procedeu permite separarea algoritmului de căutare a noii căi de topologia fizică a rețelei, reducând astfel complexitatea acestuia [253][254].

Se poate defini un domeniu de transfer (handover) ca fiind acel perimetru de acoperire sau parte indivizibilă a unui asemenea perimetru aparținând unei rețele de tip WATM, în care există permanent o acoperire în frecvență (intensitate a câmpului electromagnetic) suficientă și în cadrul căruia terminalul mobil se poate mișca liber fără ca să se constate o întrerupere a conexiunilor active. În interiorul unui astfel de domeniu de transfer trebuie să fie ca urmare posibilă o rerutare către oricare din stațiile de bază aparținând lui. Deasemenea, în interiorul lui sunt oferite funcții de comutare cu suport al mobilității în timp ce în afara domeniului sunt implementate,

din cauza lipsei unei rețele radio, numai funcții de comutare pentru abonați din rețeaua fixă.

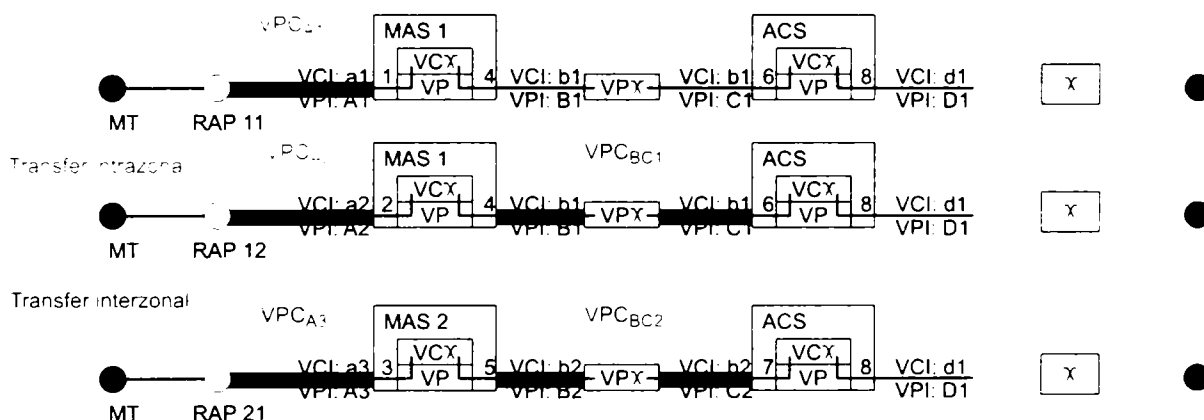
Un domeniu de transfer poate cuprinde unul sau mai multe domenii de ancoră. În interiorul unui astfel de domeniu de ancoră se află un nod ATM cu suport de mobilitate ACS, care supraveghează și comandă traficul de handover dintre zonele MAS-urilor (transfer interzonal). La configurarea rețelei se realizează o corelare între MAS, și prin intermediul acestuia celulele stațiilor de bază ce îi aparțin, și un ACS respectiv prin acesta un domeniu de ancoră. Domeniului îi este deci repartizat un perimetru de acoperire radio fix, bine definit, cu alte cuvinte și domeniul de ancoră este definit în mod fizic. Peste această definiție vom suprapune o definiție logică, bazată pe o subdiviziune VP a rețelei.

Se introduce termenul de arhitectură de rețea mobilă bazată pe căi virtuale (Mobile Network Architecture based on Virtual Path) MNAV [239]. O asemenea arhitectură posedă trei niveluri ierarhice: nivelul RAP, nivelul MAS și nivelul ACS. Pentru coordonarea traficului cauzat de mobilitatea abonaților, se definește cu ajutorul căilor virtuale o rețea logică trasată între nodurile ATM cu suport de mobilitate MAS și unele noduri ancoră cu caracter permanent ACS (figura 3.9). Această rețea logică se compune din căi directe semipermanente VPC ce se suprapun peste topologia fizică a rețelei, mascând-o (vezi și figura 2.9). Prin aceasta, complexitatea rețelei poate fi mărită fără nici un fel de constrângeri.



**Figura 3.9:** Rețea VP logică cu suport al mobilității într-un domeniu de ancoră

O rețea în care toate MAS-urile sunt conectate la toate ACS-urile nu își are însă rostul, deoarece traficul de transfer între două zone de MAS învecinate (transfer interzonal) trece întotdeauna prin punctul de comutare ACS. Din același motiv nu sunt necesare nici conexiuni directe între MAS-uri. Este însă posibilă conectarea pe mai multe căi a unor perechi MAS – ACS, pentru a crea pe de o parte redundanță în rețea iar pe de altă parte pentru a separa clasele de trafic și prin aceasta a mări câștigul obținut prin multiplexare. Acest principiu de separare a traficului pe căi virtuale poate fi utilizat și pe calea fizică dintre RAP și ACS (figura 3.9), fără însă a avea vreun avantaj din partea rerutării bazate pe VP, deoarece avem de-a face cu un segment fizic unic. Un exemplu de desfășurare a unui transfer inter- respectiv intra-zonal în interiorul unei subdiviziuni logice bazate pe VP a unui domeniu de ancoră este prezentat în figura 3.10.



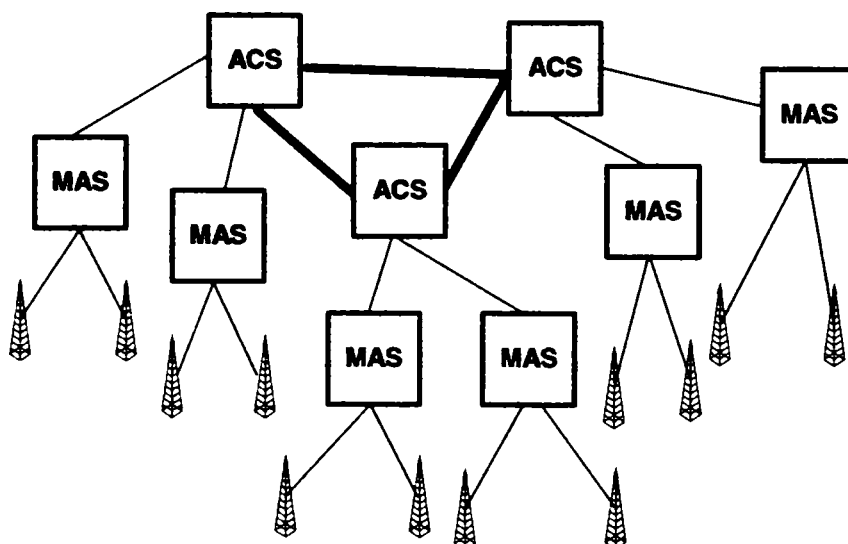
**Figura 3.10:** Rerutare în rețeaua logică MNAV

Căile directe VPC dintre MAS și ACS sunt semipermanente în sensul în care ele sunt setate ca și conexiuni VP permanente prin comenzi ale sistemului de management al rețelei, fără a avea o interacțiune cu abonații. Aceste căi sunt adaptabile din punct de vedere al capacității și al rutei urmate prin rețeaua fizică la modificări de lungă durată a sarcinii din rețea cum ar fi cele provocate temporar de zone de trafic ridicat sau zone de graniță cu trafic de handover ridicat.

Rețele de dimensiuni mari necesită mai multe puncte de comutare și deasemenea implementarea unui mecanism de transfer între domenii de ancoră aparținând ACS-urilor învecinate. La setarea unei conexiuni se fixează un punct de

comutare ACS valabil pe toată durata acesteia. Plecând de la acest punct se comută la fiecare transfer conexiunea. La traversarea graniței cu un alt domeniu de ancoră, conexiunea este comutată pe calea directă spre noul ACS. Conexiunea este din nou comutată, la părăsirea acestui nou domeniu, tot de către ACS-ul stabilit la setare, către ACS-ul următor, ș.a.m.d.

În acest mod se împiedică atât formarea de bucle cât și căutarea anevoioasă a unui punct de comutare adecvat. Pentru aceasta ACS-urile sunt conectate, într-o rețea MNAVP, în mod direct, prin VP (figura 3.11). Pe nivelul ACS pot exista mai multe legături paralele, fiind posibil atât un număr nelimitat de transferuri interzonale cât și stabilirea simultană a mai multor căi directe care să contribuie la separarea traficului și prin aceasta la o multiplexare statistică eficientă.



**Figura 3.11:** Rețea logică VP cu suport al mobilității între domenii de ancoră

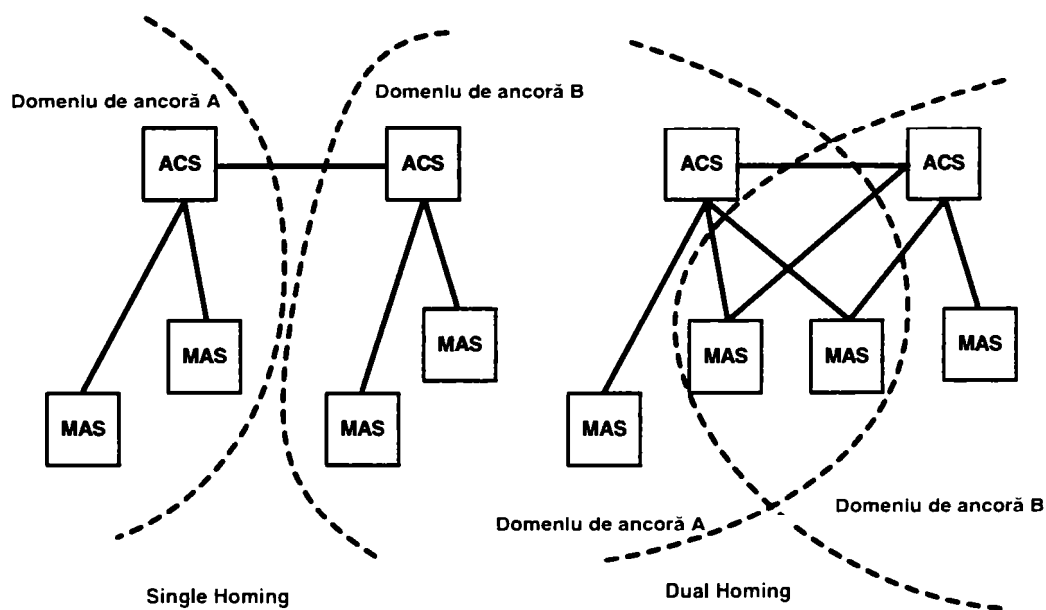
### 3.4.3 Histereza de transfer în MNAVP, descriere și analiză

Un transfer al conexiunii între domenii de ancoră învecinate necesită un efort de semnalizare suplimentar precum și existența unui segment VC necesar pentru comutarea de la ancora conexiunii la ACS-ul activ în momentul respectiv. În scopul de a reduce numărul de transferuri între domenii de ancoră învecinate, rețeaua este în mod normal organizată astfel încât granițele logice dintre domeniile de ancoră să fie trasate de-a lungul liniilor fizice de demarcație de-a lungul cărora probabilitatea



unui transfer este minimă. Acest țel nu va putea fi întotdeauna atins, așa încât și la granița dintre două domenii de ancoră va lua naștere un trafic de transfer ridicat. Situația traficului momentan într-o rețea de telefonie mobilă se schimbă destul de des, în sensul că pot apărea vârfuri de trafic de handover care nu au fost luate în considerare la proiectarea rețelei din punct de vedere al capacității. În acest caz aparține al unui trafic de handover neplanificat sau inevitabil între două domenii de ancoră învecinate, rețeaua logică MNAV P poate fi adaptată în mod flexibil în sensul reducerii numărului de transferuri inter-ancoră prin realizarea unui așa-numit “Dual-Homing”, adică a unei duble conectări a MAS-urilor la ACS (figura 3.12), configurație ce poate fi extinsă mai târziu la un “Multi-Homing” adică practic la mărirea domeniului de ancoră prin conectarea MAS-ului printr-o conexiune VP la două sau chiar mai multe ACS.

Domeniile de ancoră învecinate sunt astfel parțial suprapuse, conținând în parte aceleași MAS-uri. Terminalele mobile aflate în mișcare de-a lungul graniței fizice dintre două domenii de ancoră traversează din când în când această graniță, declanșând o serie de handover-uri.



**Figura 3.12:** “Dual Homing” bazat pe VP

Prin introducerea unui “Dual-Homing” i se atribuie fiecărui MAS două ancore distincte. La setarea unei conexiuni se alege calea prin acel punct de comutare ACS

în al cărui domeniu de ancoră fizic se află terminalul mobil în acel moment. Din cauza topologiei logice a rețelei, terminalul mobil rămâne, în cazul unui handover interzonal peste granița fizică a domeniului de ancoră, în interiorul acestui domeniu, nefiind necesară o rerutare incrementală trecând prin noul ACS, spre noul domeniu de ancoră.

O comutare a conexiunii prin noul ACS devine necesară numai atunci când terminalul mobil se îndepărtează de zona de graniță și prin aceasta declanșează un handover interzonal. Conform aceluiași principiu, la mișcarea înapoi a terminalului conexiunea poate fi păstrată în interiorul domeniului căruia în aparține momentan ACS-ul. O comutare înapoi în domeniul ancorei conexiunii devine numai în acel moment necesară, în care apare un transfer interzonal în interiorul domeniului său fizic de ancoră. Prin aceasta se introduce, cu ajutorul conceptului de "Dual-Homing", o histereză la rerutare. Ea împiedică, în cazul unei mobilități relativ reduse, un transfer între domenii de ancoră, transferul inter-ancoră se declanșează numai la mișcări ample ale terminalului. Mecanismul se poate aplica în mod analog și la RAP-uri din zone aparținând MAS-urilor învecinate.

Avantajul esențial al metodei de rerutare bazată pe VP prezentată aici este faptul că partea dintre ACS / COS și MAS a segmentului mobil aflat în interiorul unui domeniu de ancoră este compusă dintr-un singur segment VC. Acest avantaj se pierde dacă se părăsește, în decursul procesului de transfer, domeniul de ancoră (transferurile 5 și 6 din figura 3.13), cazuri în care este necesară setarea unui al doilea segment VC între nodurile ancoră ACS. Aceasta se repercutează în mod negativ asupra economiei de resurse, efect ce poate fi diminuat cu ajutorul histerezei amintite mai sus și care va fi analizată în cele ce urmează. Pentru efectuarea analizei ne folosim mai întâi de un model Markov discret pentru situațiile fără histereză de handover (figura 3.14). Acesta descrie succesiunea de transferuri din figura 3.13.

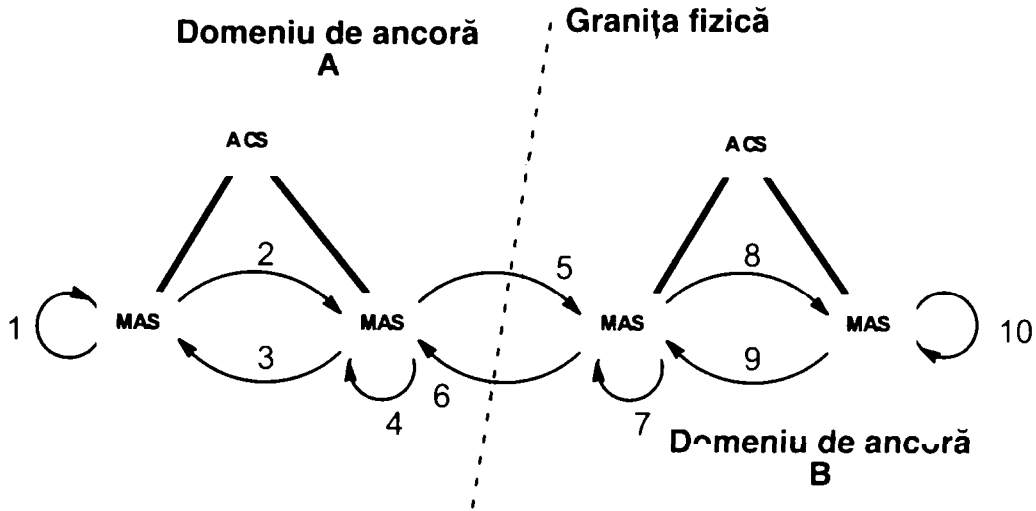


Figura 3.13: Handover intra și inter-domenii de ancoră fără histereză

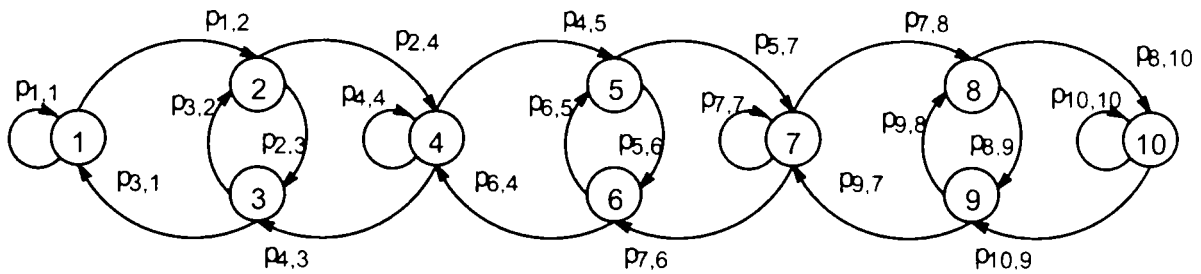


Figura 3.14: Model Markov discret al succesiunii transferurilor fără histereză

Stările 1-4 și 7-10 asociază transferurile și prin aceasta rerutările în mod precis câte unui nod ancoră. Pentru simplificare se presupune fără a limita valabilitatea generală, că un handover interzonal între cele două domenii de ancoră (handover 5 și 6 din figura 3.13) nu-i poate succeda imediat unui handover interzonal din interiorul unui domeniu de ancoră (handover 2, 3, 8, 9 din aceeași figură) și vice-versa.

Suma probabilităților de tranziție ale unei stări este pentru toate stările  $i$

$$\sum_{j=1}^n p_{i,j} = 1 \tag{11}$$

Ecuția următoare, (12), descrie matricea corespunzătoare a probabilităților de stare.



se poate rezolva acest sistem. Probabilitatea de a ne afla într-una din stările 5 sau 6 indică frecvența de tranziție respectiv a transferului între cele două domenii de ancoră.

Situația se complică puțin în cazul în care avem o histereză de handover. Transferurile între domeniile de ancoră nu se mai desfășoară în mod definit în același loc (handover-urile 5 și 6 din figura 3.14), deoarece domeniile se suprapun în parte. Ca urmare secvența transferurilor este dependentă de nodul prin care este rutată conexiunea (figura 3.15).

În consecință modelul Markov trebuie extins și el pentru a cuprinde noile stări (figura 3.16). Ambele subsisteme sunt cuplate prin intermediul unui transfer interzonal între cele două domenii de ancoră (8a și 3b din figura 3.15). În acest context se pot desprinde două concluzii importante:

- acest handover se petrece mult mai târziu, și anume de abia după ce s-a traversat încă o zonă suplimentară
- unui transfer inter-ancoră nu îi poate urma imediat o comutare a conexiunii pe ancora veche.

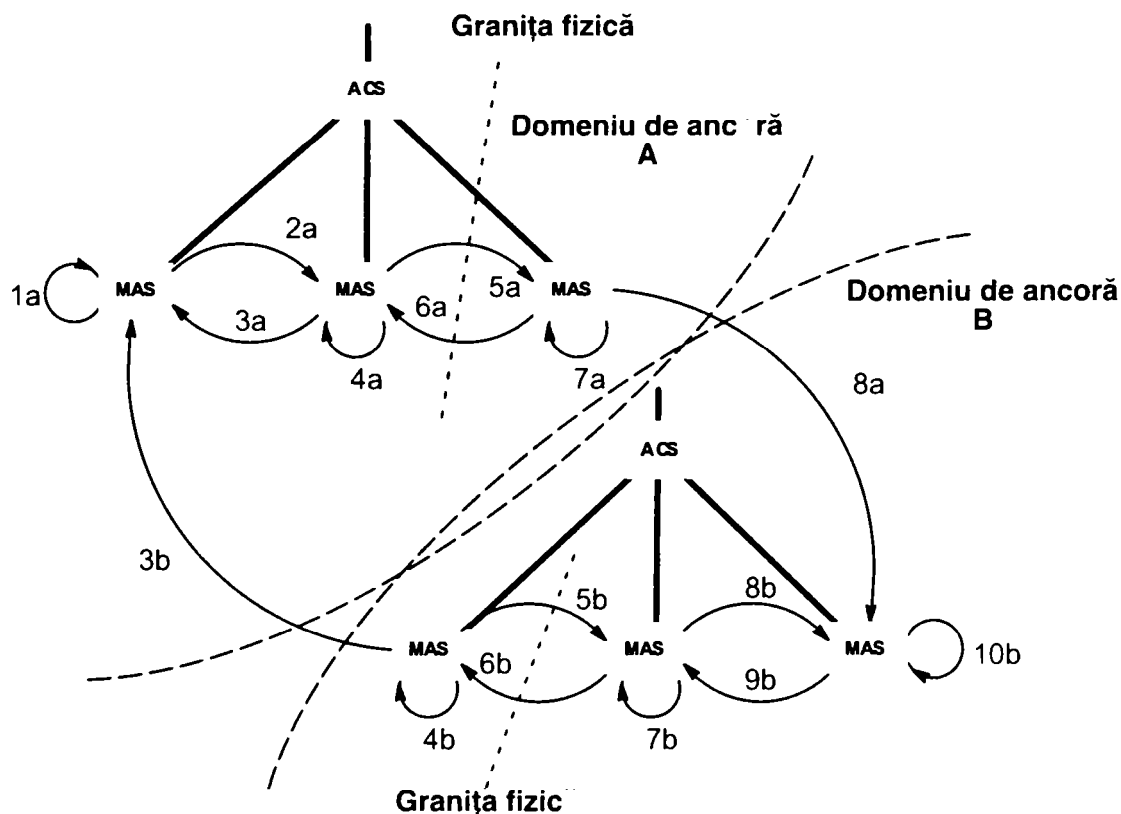


Figura 3.15: Handover intra- și inter-domeniu de ancoră cu histereză



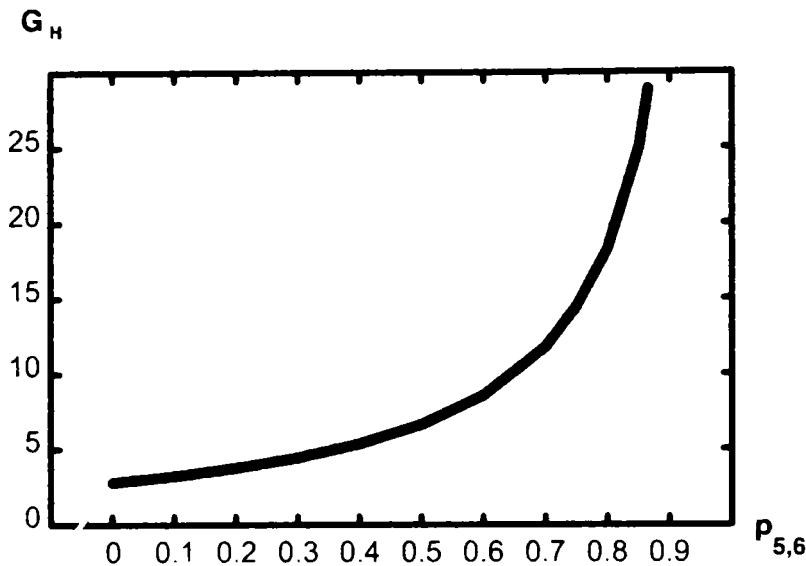
mari, cu atât este mai ridicată probabilitatea ca terminalul mobil să se miște în regiunea respectivă. Ceilalți parametri ai modelului reies din ecuația (11). Parametrii modelului cu histereză din figura 3.16 se determină prin introducerea probabilităților la zonele de graniță corespunzătoare și în concordanță cu ecuația (11).

**Tabelul 3.5:** Parametrii exemplului numeric al histerezei de handover

Parametru	Valoare
$p_{1,1}, p_{10,10}$	0,8
$p_{4,4}, p_{7,7}$	0,1
$p_{2,3}, p_{8,9}$	0,3

Parametrul cel mai important pentru determinarea câștigului de histereză este probabilitatea de apariție a transferurilor consecutive între domenii de ancoră (handover inter-ancoră). Ea descrie caracterul local al mișcării la granița dintre cele două domenii de ancoră. Dacă această probabilitate este egală cu zero atunci granița este trecută întotdeauna numai într-o singură direcție, iar terminalul se deplasează după această traversare numai în interiorul noului domeniu de ancoră (cu toate acestea probabilitatea unei reîntoarceri ulterioare nu este, desigur, egală cu zero). Dacă probabilitatea este ridicată, atunci terminalul se deplasează local și traversează în mod frecvent granița respectiv schimbă deseori domeniul de ancoră.

În acest caz crește, în absența histerezei, frecvența transferurilor inter-ancoră. Utilizând histereza de handover implementată în cadrul MNAV, ea este redusă în mod eficient, crescând în același timp câștigul de histereză (figura 3.17).



**Figura 3.17:** Câștigul de histereză în funcție de valoarea  $\rho_{5,6}$

Chiar și în cazul unui caracter local deosebit de restrâns al mișcării la granița dintre domeniile de ancoră ( $\rho_{5,6} = 0$ ), histereza va reduce, în acest exemplu, frecvența transferurilor la aproximativ o treime față de cea inițială.

Efectul se datorează faptului că histereza împiedică executarea unui transfer inter-ancoră imediat după efectuarea cu succes a unui transfer intrazonal la granița fizică dintre două domenii de ancoră (handover-urile de tip 4 și 7 din figura 3.13). Mai mult, există transferuri intrazonale la această graniță care nici nu pot atrage după sine un transfer inter-ancoră (tipurile 4a și 7b din figura 3.15).

Câștigul de histereză este practic independent de parametrii din tabelul 3.5. Păstrând constanți ceilalți trei parametri ( $\rho_{5,6} = 0,4$  și ceilalți trei parametri având valorile din tabelul 3.5), obținem curbele din figura 3.18. Se poate observa influența neglijabilă a celor trei parametri asupra câștigului de histereză, care este influențat în principal de frecvența (intensitatea) transferului la granița fizică, independent de caracterul mobilității. Acesta este desigur un efect dorit și scontat, pentru a putea seta o conexiune VP pentru legătura "Dual-Homing" a MAS-urilor în zona de graniță, numai pe baza unor măsurători ale statisticilor de handover, reducând astfel în mod considerabil numărul de transferuri inter-ancoră.



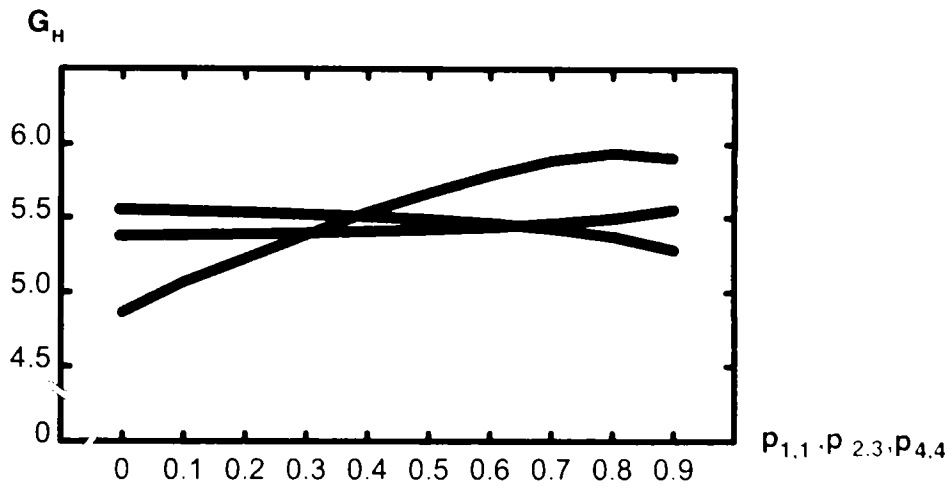


Figura 3.18: Câștigul de histerază în funcție de  $p_{2.2}$ ,  $p_{4.4}$  și  $p_{1.1}$

**3.4.4 Privire de ansamblu și concluzii**

Rețeaua reprezentată în figura 3.19 reprezintă un exemplu de implementare a unei rețele logice cu căi virtuale, structurată pe trei nivele ierarhice.

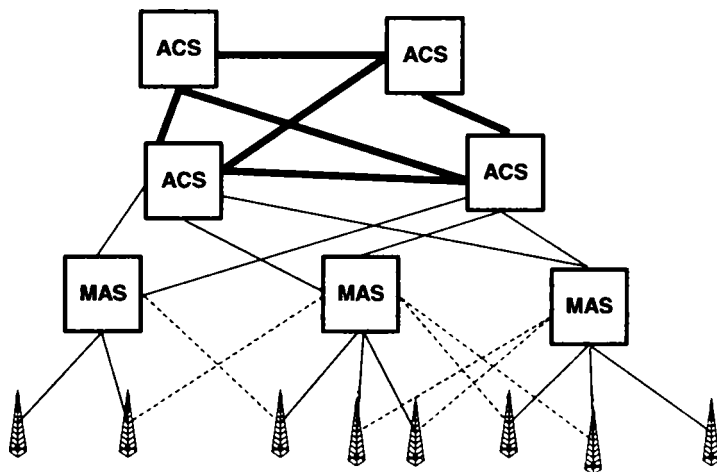


Figura 3.19: Rețea completă bazată pe VP cu suport al mobilității

Structura arborescentă a procedurii multicast de rerutare poate fi recunoscută în această figură. Ea ia naștere prin introducerea de căi directe bazate pe VPC, prin aceasta beneficiind de avantajele structurii și evitând dezavantajele ei.

Avantajul esențial al arborelui multicast îl constituie componenta proactivă a rerutării, care este implicit corelată cu o arhitectură logică a rețelei bazată pe VP prin faptul că se pun la dispoziție, la momentul transferului, căi calculate și stabilite în

prealabil. Astfel se elimină procesul de căutare a noii căi, care nu mai are loc în timp real, și de alegere a punctului de comutare. Prin setarea de căi directe VPC între ACS și MAS se minimizează în același timp numărul de segmente VC ce trebuiesc comutate în cazul unui transfer. Procedeu bazat pe VC prezintă în comparație cu cel proactiv bazat pe VP avantajul că, la handover, nu mai trebuie luată decizia de acceptare a conexiunii pe tot parcursul rutei, și nici tabelele de comutare din nodurile de tranzit nu necesită a fi adaptate. Aceste noduri de tranzit pot fi exploatate ca și simple noduri VP-Crossconect sau VP-Switch. Prin aceasta se obține în cazul procedurii de rerutare bazat pe VP, similar procedurii multicast, o valoare redusă a latenței de transfer.

Utilizând acest procedeu se reduce în același timp și efortul global depus în rețea. Dacă la procedeele multicast era necesară stabilirea unui arbore multicast pentru fiecare conexiune în parte, aici se ocupă numai resursele care i-au fost repartizate conexiunii VP la setarea ei. Capacitatea din rețea rezervată pentru arborele VPC poate fi repartizată în mod flexibil tuturor conexiunilor ce sunt rutate prin acest arbore, având ca urmare o gestiune mai eficientă a resurselor la rerutarea bazată pe VP decât în cazul rerutării bazată pe multicast.

Cu toate acestea nici la rerutarea bazată pe VP nu putem micșora latența de transfer fără a se mări consumul de resurse din rețea, în special în cazul rerutării peste granițele MAS-ului și a domeniului de ancoră. Rețeaua prezintă o structură ierarhică impusă prin introducerea nodurilor ancoră permanente ACS. Terminale mobile din zone învecinate (zone ale MAS-urilor, domenii de ancoră) pot fi apelate numai trecând prin elementul de rețea imediat superior. În special conexiunile dintre terminale mobile din aceeași zonă sau din zone elementare învecinate vor fi setate prin nodul ancoră corespunzător sau respectiv prin cele două noduri din cele două zone învecinate (figura 2.6). Acesta este dezavantajul pe care conexiunea VP îl posedă la fel ca și toate celelalte conexiuni cu ancoră fixă și anume acela al unei rutări ineficiente. Gradul de ineficiență, cauzată la aceste conexiuni mobil-mobil de ancora fixă, depinde în mare măsură de topologia fizică și de amplasamentul nodului ancoră. Ineficiența poate fi exprimată ca o cerință suplimentară de resurse în comparație cu rutarea directă, fără ocolul prin ancoră, bazată pe VC. Această cerință suplimentară de resurse este corespunzător mai mare într-o rețea fizică cu un grad înalt de interconectare a nodurilor și ca urmare căi scurte între MAS-uri

comparativ cu o rețea cu o structură ierarhică, arborescentă. Nevoia exactă de resurse respectiv gradul de ineficiență pot fi calculate numai bazat pe un exemplu concret. Ea este foarte dependentă și de comportamentul și mobilitatea abonaților. Dacă se setează în mod frecvent conexiuni spre abonați aflați în aceeași zonă, atunci consumul de resurse este mai mare utilizând un procedeu de rerutare cu ancoră fixă și căi statice. Dacă în schimb se stabilesc conexiuni cu terminale aflate în majoritate în afara domeniului de ancoră, atunci procedeele bazate pe VP sunt avantajoase deoarece ele nu necesită alocarea de capacități suplimentare în rețea. Calea urmată de conexiune depinde de ruta VPC dar nu se deosebește decât foarte puțin sau chiar deloc de ruta cea mai scurtă. O estimare a gestiunii resurselor va fi făcută în cadrul paragrafului 3.6.

Rerutarea bazată pe VP nu se pretează deci la fel de bine pentru toate topologiile de rețea, relațiile de trafic și modelele de mobilitate. Spre exemplu, utilizarea unui procedeu cu ancoră în rețele locale LAN cu o cotă parte mare de conexiuni mobil-mobil, cauzează o exploatare ineficientă a resurselor. Cu totul alta este situația în rețelele de tip WAN, în care există mult mai multe conexiuni la distanță, de exemplu în rețeaua fixă sau spre alte rețele mobile. Un exemplu tipic îl constă utilizarea de servicii puse la dispoziție prin intermediul unor servere. Rețelele WAN sunt în plus structurate ierarhic, pornind de la baza care e de obicei o rețea de acces local, trecând prin rețeaua urbană în rețeaua interurbană ș.a.m.d. În acest caz se pretează a fi utilizate rețelele de tip MNAVP.

Alte avantaje oferite de rețelele logice bazate pe VP sunt cele legate de introducerea și exploatarea rețelelor ATM cu acces fără fir și abonați mobili. Servicii noi de bandă largă cu acces prin radio sunt introduse deseori într-un perimetru local limitat cu prognoză favorabilă de trafic, ca de exemplu așa-numitele Wireless Access Zones din aeroporturi [191]. Aceste zone sunt destul de mici pentru a fi putea fi deservite de numai câteva stații de bază împreună cu nodul ATM cu suport al mobilității corespunzător. Mobilitatea în interiorul unei astfel de zone este nelimitată dar redusă, iar în afara ei neexistând acoperire radio. Ca urmare este suficientă introducerea unui MAS pentru a putea prelua și satisface funcțiile de rerutare și transfer. Exploatarea unei astfel de zone se aseamănă foarte mult cu exploatarea unei rețele locale LAN. În mod treptat crește gradul de utilizare și densitatea de terminale din rețea, WATM se introduce treptat în rețelele ATM

existente iar cererea de suport al mobilității crește. Procedeu de rerutare bazat pe VP poate fi introdus aici ca și procedeu bazat pe o ancoră fixă, concomitent fiind posibilă introducerea unei structuri de rețea logice. Prin aceasta se poate oferi suportul pentru transferul conexiunii peste granițele zonale și o rerutare prin întreaga rețea, fără a se modifica sau extinde nodurile ATM existente. Rolul lor se limitează în acest caz la unul de comutare a căilor virtuale ca și matrice de comutare VP sau switch VP. Rolul de ancoră poate fi preluat, alternativ, de către MAS. MAS-urile unei rețele cu acoperire radio completă sunt interconectate multiplu prin conexiuni VP. Un MAS preia deci rolul de ancoră pentru conexiunile ce sunt setate în zona sa. Setarea conexiunilor se efectuează incremental, plecând de la MAS-ul local și mergând de-a lungul căilor prestabilite prin VPC. Soluția se pretează numai pentru rețele locale cu un număr mic de zone. Efortul datorat interconectării crește direct proporțional cu pătratul numărului de MAS-uri respectiv ACS-uri participante. În concluzie putem spune că procedeu de rerutare bazat pe VP cu punct de comutare fix și rute statice este predestinat a fi folosit pentru introducerea treptată a WATM în rețele ATM existente.

### 3.5 Concepte alternative de rerutare

Clasificarea sistematică a procedeelelor de rerutare a fost deja făcută în capitolul 3.3. Scopurile principale urmărite de diversele procedee de rerutare sunt:

- minimizarea latenței de transfer;
- optimizarea rutării și a consumului de resurse.

Aceste țeluri nu pot fi desigur atinse concomitent, existând întotdeauna un țel primordial, în funcție de domeniul de utilizare al procedeuului prevăzut. Procedeele ce conțin o componentă proactivă, în special cele bazate pe multicast precum și procedeu de rerutare bazat pe VP denumit MNAVP și prezentat anterior, au ca și țel o latență de transfer cât mai mică. În același timp ele prezintă avantajul unui efort redus necesar pentru comanda unui transfer, așa încât se poate atinge o rată înaltă a transferurilor. Dacă însă eficiența căii și o utilizare optimă a resurselor se află pe prim plan, atunci procedeele cu alegere dinamică a punctului de comutare și căutare dinamică a căii sunt cele adecvate acestui scop. Ele necesită însă noduri de

comutare cu suport de mobilitate în toată rețeaua și un efort de coordonare și control mărit care contribuie în cele din urmă la creșterea latenței de handover. În cele ce urmează se vor prezenta și compara cu procedeul MNAVP alte patru procedee reprezentative.

### **3.5.1 Concept ierarhic de rerutare**

Arborele de conexiuni virtuale (Virtual Connection Tree VCT, [1]) a constituit unul din primele concepte de rerutare rapidă în rețele ATM cu acces prin radio și abonați mobili. Acest concept stabilește, în interiorul unui domeniu de ancoră, plecând de la nodul ancoră, o structură ierarhică de conexiuni virtuale. Nodul ancoră este în același timp punctul de tranziție spre rețeaua ATM fixă. De la acest nod se setează o structură arborescentă către celelalte noduri ale rețelei, formând în interiorul domeniului de ancoră o configurație punct-multipunct, care însă nu are proprietăți multicast. Pornind de la ancoră se setează spre fiecare nod exact una și numai o conexiune VC pentru fiecare conexiune de date utile. Aceste conexiuni posedă un număr de identificare unic care îi este comunicat terminalului mobil la setarea ei. Terminalul utilizează însă numai conexiunea spre nodul actual în momentul respectiv. În celelalte ramuri ale arborelui nu există capacități rezervate, respectiv prin celelalte conexiuni VC nu se transmit date utile. În cazul unui transfer se comută pur și simplu pe noua conexiune VC, latența de handover fiind relativ redusă. La părăsirea de către terminalul mobil a zonei de influență a unui arbore devine necesară stabilirea unui nou.

Ideea VCT-ului a fost dezvoltată în lucrări ulterioare. În [258][259] se introduce pentru fiecare conexiune un arbore reconfigurabil dinamic. Rădăcina acestui arbore nu este fixă, ea putându-se schimba pe durata de viață a conexiunii. Avem de-a face, la urma urmei, cu o formă mixtă ce se compune dintr-o variantă cu alegere dinamică a COS-ului și una aparținând categoriei cu ancoră orientată pe conexiune. Se setează un arbore de conexiuni plecând de la nodul rădăcină către toate țelurile de handover posibile (conexiuni punct-multipunct). Aceste conexiuni sunt înregistrate în tabelurile de comutație din nodurile aflate de-a lungul rutei, fără însă a se face o rezervare de capacități. Și aici se folosește, ca și în cazul VCT, numai conexiunea actuală. Ocuparea resurselor pe ruta de la punctul de comutare

la stația de bază nouă se face în momentul transferului. După efectuarea acestuia se poate muta, dacă este necesar, punctul de comutare și stabili un arbore nou.

### **3.5.2 *Dynamic Cross-Over Switch Discovery Rerouting***

Acest tip de rerutare ce poate fi tradus direct ca fiind: rerutare cu detectare dinamică a switch-ului de cross-over se poate adapta în mod flexibil la diversele topologii ale rețelei și constă dintr-o combinație de alegere dinamică a punctului de comutare cu o căutare dinamică a rutei (Dynamic COS Discovery Rerouting DCOSDR). Un astfel de procedeu este propus în [228][229][230] pentru rețele locale. La momentul transferului se alege un punct de comutare și o nouă rută pentru segmentul mobil. Alegerea se face conform unor anumite criterii de optimizare care includ condițiile marginale în metoda de căutare (vezi paragraful 3.3.2). Pentru alegerea punctului de comutare este necesar un nod central de comandă ce deține informații complete despre ruta curentă a conexiunii și despre punctele de comutare posibile [229].

### **3.5.3 *Rerutare bazată pe cel mai apropiat nod comun***

Și la rerutarea bazată pe cel mai apropiat nod comun (Nearest Common Node Rerouting NCNR) [8][9][10] se alege în mod dinamic punctul de comutare. Este vorba în acest caz de nodul de comutație ATM, de la care diverg cele două rute, cea veche și cea nouă. Acest nod este găsit prin trimiterea unui mesaj de semnalizare către nodul de comutație al punctului terminus și de acolo de-a lungul căii actuale a conexiunii către vechiul RAP. Mesajul conține adresele punctului terminus, stația de bază ce deservește în acel moment precum și lista candidaților de handover fiind analizat de fiecare nod de-a lungul rutei. Punctul de comutare se consideră găsit atunci când cele trei adrese ale unui nod pot fi apelate de către trei porturi diferite. Acest procedeu necesită implementarea de mesaje de semnalizare specifice ca extindere a protocolului ATM.

### **3.5.4 *Rerutare în WATM CS 1***

În standardul WATM al Forumului ATM (WATM Capability Set 1, [20]) sunt specificate mai multe alternative de rerutare. Ele se deosebesc în principal prin

modul de alegere a punctului de comutare, el putând fi: MAS-ul local, o ancoră independentă de MAS-ul local, sau un nod de comutație oarecare din rețeaua ATM care este stabilit la momentul transferului. Prin aceasta se folosesc două din cele patru tipuri principale de rerutare discutate în paragraful 3.3.3 [20]:

- prelungirea conexiunii;
- rerutarea incrementală.

Rerutarea incrementală poate avea loc sau la unul din nodurile ancoră sau la un punct de comutare stabilit dinamic [20][21][22]. Rerutarea bazată pe ancoră se bazează pe concepte din [159][185][186]. Varianta dinamică se bazează pe conceptul de rerutare cu detectare dinamică a switch-ului de cross-over (vezi și paragraful 3.5.2, [228][229][230]).

Procedeele bazate pe multicast nu au fost luate în considerare în cadrul WATM CS1. Se consideră întotdeauna numai o singură rută de transmisie ca fiind activă la un moment dat, ceea ce înseamnă că, la un moment dat, există o singură conexiune activă printr-o singură stație de bază și o singură interfață radio.

### **3.6 Comparație a procedeelelor de rerutare**

După cum s-a amintit deja, există o strânsă interdependență între performanța și gestiunea resurselor unui procedeu de rerutare și topologia fizică a rețelei respectiv relațiile de trafic și mobilitatea abonaților. Acest lucru face dificilă o comparație obiectivă între procedeele de rerutare. În principiu nu avem la dispoziție decât două posibilități: pe de o parte corelarea procedeelelor cu diverse topologii de rețea și modele de comportament al abonaților în cadrul unor simulări complexe sau pe de altă parte o comparație directă bazată pe un set de parametri clar definiți de evaluare a efortului depus. În cele ce urmează se va utiliza ce-a de-a doua metodă.

#### **3.6.1 Criterii și parametri de evaluare**

Mărimea efortului depus pentru rerutare poate fi evaluat pe baza câtorva criterii, enumerate în tabelul 3.6:



- Numărul de segmente VC,  $N_{hop}$

Efortul necesar pentru efectuarea rerutării este în principiu dependent de topologia rețelei, el crescând o dată cu mărirea numărului  $N_{hop}$  de segmente VC de-a lungul segmentului mobil al unei conexiuni. Această valoare este determinată în marea majoritate a procedeeelor, de topologia concretă a rețelei, deoarece au fost implementate rerutări bazate pe VC. Utilizând căi directe bazate pe VP se poate reduce considerabil acest efort.

- Numărul de mesaje de semnalizare,  $N_S$

Acesta depinde de numărul de segmente VC ce necesită a fi prelucrate. O parte din mesaje de semnalizare ale unui procedeu de rerutare sunt folosite numai o singură dată pentru toate conexiunile pe când altele se utilizează o dată pentru fiecare VC sau chiar pentru fiecare segment. O proiectare judicioasă a rerutării face ca partea de mesaje comune tuturor conexiunilor să fie ridicată, așa încât să se poată realiza o scalaritate pe mai multe conexiuni. Numărul total de mesaje de semnalizare pentru o tranzacție de rerutare ne oferă o indicație precisă asupra sarcinii de semnalizare exercitată asupra MAS-ului respectiv ACS-ului prin executarea rerutării și deasemenea asupra ratei de transfer ce se poate atinge pe un anumit domeniu.

- Numărul de conexiuni VC,  $N_{VCC}$ , necesare pentru o conexiune de date utile

Un alt criteriu semnificativ îl reprezintă numărul de conexiuni VC care trebuie setate și apoi administrate la rerutare pentru fiecare VC. Mărirea  $N_{VCC}$  ne oferă date privind consumul de resurse la rerutare și este un parametru important pentru măsurarea overhead-ului ce ia naștere într-un procedeu multicast.

- Economia de resurse,  $p_R$

În acest caz se compară resursele ocupate efectiv cu resursele minime necesare pentru setarea conexiunii. Și această mărime este dependentă de topologie și o măsură a lungimii suplimentare a unei rute deja setate față de ruta ce a mai scurtă.



**Tabelul 3.6:** Criterii de evaluare a procedeelelor de rerutare la rețele WATM

Parametru	Simbol	Definiție
Numărul de segmente VC	$N_{hop}$	Numărul de segmente VC dintre punctul de comutare și MAS, aparținând segmentului mobil și ce necesită a fi prelucrate
Efortul de semnalizare	$N_S, N_S^R$	Numărul mesajelor de semnalizare (pe fiecare tranzacție de rerutare)
Numărul de VCC per conexiune de date utile	$N_{VCC}$	Numărul de conexiuni VC stabilite pentru rerutare per conexiune de date utile
Gestiunea resurselor pe rută	$\rho_R$	Raportul dintre resursele minime necesare pentru setarea conexiunii și resursele consumate efectiv
Noduri de rețea extinse	$N_e, \rho_e$	Numărul total de noduri, sau cota parte din acesta, a căror funcționalitate trebuie extinsă cu parametri de mobilitate
Transferuri în grup	<i>Group</i>	Capacitatea de a reruta concomitent mai multe conexiuni ale aceluiași terminal mobil (transfer în grup)
Domeniu de utilizare	<i>LAN, WAN</i>	Caracteristica pregnantă: utilizare în LAN sau în WAN
Latenta de transfer	$T_L, T_L^R$	Intervalul de timp scurs (contribuția procedeeului de rerutare la acesta) dintre cererea unui transfer (BW_HO_REQUEST) și permisiunea de a-l executa (BW_HO_RESPONSE, HO_RELEASE)

- Numărul total de noduri,  $N_e$ , respectiv cota parte a celor cu suport al mobilității,  $\rho_e$

Aproape la fel de important ca și gestiunea resurselor este efortul ce trebuie depus pentru a oferi în rețea funcțiile necesare de suport al mobilității. Numărul de noduri a căror funcționalitate trebuie extinsă prin adăugarea protocoalelor de semnalizare și a funcțiilor de comutație corespunzătoare este dependent de procedeul de rerutare. Dacă cota parte este relativ mică,

atunci rețeaua se poate extinde treptat folosind domenii de ancoră cu conexiune prin radio. Dimpotrivă, dacă trebuie extinse toate nodurile în același timp, atunci procedeul se pretează numai la construirea de rețele WATM independente.

- Latența transferului,  $T_L^R$

Latența transferului se poate defini ca fiind intervalul de timp ce se scurge din momentul cererii de către terminalul mobil MT a permisiunii de a efectua un transfer și momentul acordării acesteia de către nodul de comutație ATM cu suport de mobilitate, MAS. Cu alte cuvinte latența transferului ne indică cât timp după recunoașterea situației de handover este necesară menținerea, de către MT, a conexiunii radio spre RAP-ul vechi, care îi permite transmisia sigură a mesajelor de semnalizare. Ea reprezintă un criteriu adecvat de evaluare a procedeelelor de backward-handover (figurile 2.11 și 2.12). Latența de handover este definită pentru această lucrare ca fiind intervalul de timp scurs între transmiterea mesajului BW\_HO\_REQUEST și recepționarea mesajului de aprobare a transferului care este BW\_HO\_RESPONSE la transferul intrazonal, respectiv HO\_RELEASE la transferul interzonal. În cazul special de backward-handover, latența de transfer cuprinde și procesul de rerutare, inclusiv căutarea noii căi. Cerința pusă în fața funcțiilor de rerutare este de a minimiza contribuția rerutării la latența de handover [185].

- Suportul transferului în grup și domeniul de utilizare

Un procedeu de rerutare trebuie să suporte un handover în grup eficient, pentru aceasta el necesitând să fie capabil să ruteze mai multe conexiuni pe aceeași rută respectiv prin același punct de comutare. Alegere individuală a punctului de comutare COS în momentul declanșării unui handover împiedică un transfer în grup eficient ce se poate realiza în acest caz numai cu un efort de coordonare suplimentar.

- Domeniu de utilizare

Aceste procedee au fost proiectate mai ales pentru rețele WAN, dar se pretează parțial și la folosirea în rețele locale.

Folosind aceste criterii se vor compara în cele ce urmează procedeele între ele și cu procedeul MNVAP.

### 3.6.2 Comparație directă a procedeelelor de rerutare

Lista de parametri din tabelul 3.7 oferă o primă imagine de ansamblu asupra diverselor procedee de rerutare. Valorile parametrilor NCNR, VCT și DCOSDR sunt în parte preluate din [10].  $N$  reprezintă numărul de noduri ale arborelui de conexiuni,  $D$  este numărul de segmente VC, dependent de topologie, dintre punctul de comutare și MAS. Nodurile arborelui corespund nodurilor ATM cu suport al mobilității cu alte cuvinte MAS-ului dintr-un domeniu de ancoră. Segmentele VC pot fi segmente fizice sau segmente logice (vezi și figura 3.1).

**Tabelul 3.7:** Efortul necesar și domeniile de utilizare ale procedeelelor de rerutare pentru WATM

	MNAV P	WATM CS1 (Ancoră)	Mod. VCT	VCT	NCNR (link direct)	NCNR (alte tipuri de linkuri)	DCOSDR
$N_{hop}$	1	D	D, N*D	D, N*D	1	D	D
$N_S^R$	3	3	3, 2*N	3, 2*N	3	5	7
$N_{VCC}$	1	1	N	N	1	1	1
LAN, WAN	WAN	WAN	LAN/WAN	LAN/WAN	WAN	WAN	LAN

Corespunzător conceptului pe care se bazează, un procedeu de multicast trebuie să întrețină, pentru fiecare conexiune a terminalului mobil, conexiuni VC către toate cele  $N$  noduri ale arborelui, în timp ce restul procedeelelor lucrează numai cu o singură conexiune VC per conexiune de date utile ce efectuează un transfer ( $N_{VCC} = 1$ ). Numărul de conexiuni VC, ca atare, nu oferă prea multe indicații, de aceea este interesant de analizat și lungimea lor, exprimată în număr de segmente VC. Crescând numărul de segmente VC crește direct proporțional și durata totală a

procesului de rerutare, deoarece pentru fiecare din aceste segmente trebuie efectuată o preluare a conexiunii și o rezervare de resurse. Numărul de segmente VC,  $N_{hop}$ , ale segmentului mobil al unei conexiuni este, în cazul rerutării bazată pe VP a arhitecturii MNAVP prezentate în această lucrare, la un transfer intra-domeniu întotdeauna egal cu 1, deoarece există căi directe stabilite între ancoră și fiecare MAS. La transferul interdomeniu avem de-a face cu două segmente VC. Procedeu cu ancoră din WATM CS 1 este un procedeu bazat pe VC iar numărul  $D \geq 1$  de segmente VC depinde de topologia rețelei și de amplasamentul nodului ancoră. În cazul cel mai simplu ACS-ul și MAS-ul sunt plasate unul lângă altul și posedă un link direct, așa încât  $D = 1$ . Această situație optimă este întâlnită și în cazul rerutării bazată pe cel mai apropiat nod comun (Nearest Common Node Rerouting, NCNR), dacă există o conexiune directă între MAS-urile învecinate. Dacă această conexiune nu există, atunci trebuie comutat un număr  $D \geq 1$ , dependent de topologie, de segmente, analog cazului DCOSDR. Analizând numai segmentul mobil comutat, atunci această constatare este valabilă și pentru cele două procedee bazate pe un arbore de conexiuni (VCT și VCT modificat, vezi paragraful 3.5.1). Singura acțiune ce rămâne de făcut în cazul unui transfer este rezervarea de resurse de-a lungul conexiunii VC. La această categorie de rerutare trebuie însă rerutat tot arborele după ce s-a comutat conexiunea de date utile, ceea ce înseamnă prelucrarea a  $N \cdot D$  segmente VC. Deoarece însă procedeu VCT modificat permite alegerea unui punct de comutare variabil, numărul de segmente, dependent de topologie, poate fi mai mic decât în cazul VCT-ului original, cu ancoră fixă.

Pentru a putea seta segmentul mobil nou corespunzător, trebuie schimbate pentru fiecare conexiune afectată de un transfer cel puțin trei mesaje de semnalizare, (SETUP, CONNECT, CONN\_ACTIVE, vezi și figurile 2.12 și 2.14). Acest număr se mărește în cazul procedeelelor NCNR și DCOSDR deoarece la el se adaugă mesajele de căutare dinamică a punctului de comutare. Cu toate acestea, efortul depus în cazul NCNR este diminuat, deoarece nodul de comutare este căutat pornind de la punctul de accesare a rețelei al terminalului aflat la celălalt capăt al conexiunii, pe când în cazul DCOSDR trebuie interpelat înainte de toate, înainte deci de a începe efectiv căutarea COS-ului, un server central pentru a afla ruta actuală a conexiunii prin rețea. Demn de remarcat mai este și faptul că numărul de mesaje este exprimat per conexiune, numărul total fiind determinat prin multiplicarea

acestui cu numărul de segmente VC ce trebuie comutate. Prin aceasta putem calcula exact, pentru toate metodele de rerutare, efortul de semnalizare necesar pentru setarea noului segment mobil. La acesta se mai adaugă mesajele de semnalizare pentru deactivarea vechiului segment mobil aparținând conexiunilor afectate de handover. Aceste mesaje influențează numai durata totală a transferului, nu însă și latența acestuia, de aceea ele nu sunt luate în considerare în această lucrare.

Toate procedeele enumerate și analizate, cu excepția rerutării dinamice DCODSR ce se limitează explicit la rețele locale, au fost proiectate pentru a fi utilizate în rețele de tip WAN. Conceptul VCT modificat se pretează cel mai bine la o utilizare în aceste rețele, deoarece el posedă abilitatea de a modifica și adapta flexibil mărimea arborelui la mobilitatea abonatului și la topologia rețelei. Acest procedeu are însă dezavantajul unui efort mărit de coordonare și control al arborelui de conexiuni, necesită deci noduri de comutație cu performanțe ridicate. Procedeu VCT modificat se pretează foarte bine și în a fi utilizat în rețelele locale LAN prin faptul că arborele de conexiuni este permanent rerutat iar punctul de comutare nou stabilit după fiecare transfer.

### **3.6.3 Contribuția procedeelelor de rerutare la latența de transfer**

Cu ajutorul parametrilor determinați anterior se poate estima și latența de transfer. Pentru aceasta sunt necesari câțiva parametri suplimentari ce descriu proprietățile fizice ale rețelei precum și timpul scurs pentru căutarea respectiv alegerea unei noi căi (vezi tabelul 3.8).

Latența transferului din cadrul unui procedeu de rerutare se poate exprima deci prin formula

$$T_L^R = (N_{hop} + 1)t_{\Delta s} + 2(N_{hop} + 1)t_{\Delta p} + N_S^R t_{\Delta d} + t_{\Delta R} \quad (18)$$

Latența de transfer se compune din efortul de prelucrare pentru setarea segmentului mobil, durata tranziției prin rețea a tuturor mesajelor și dintr-o componentă datorată căutării și alegerii căii (inclusiv stabilirea punctului de comutare).

Tabelul 3.8: Parametrii rețelei fizice

Parametru	Valoare tipică	Semnificație
$t_{\Delta R}$	n.a.	Timpul necesar alegerii unei căi
$t_{\Delta S}$	3 ms	Timpul de prelucrare a unui mesaj SETUP per nod
$t_{\Delta P}$	1 ms	Timpul de prelucrare a tuturor celorlalte mesaje per nod
$t_{\Delta d}$	0,5 ms	Întârzierea medie pe calea de transmisie a unui mesaj per nod

Efortul de prelucrare datorat segmentului mobil este dependent de numărul de segmente VC și include timpul de prelucrare a diverselor mesaje în nodurile rețelei. Dacă, în cazul procedurii VCT, capacitățile necesare conexiunilor VC sunt rezervate la setarea arborelui, atunci acest termen este nul. Durata tranziției prin rețea este întotdeauna dependentă de topologia acesteia și prin urmare de parametrul  $D$  (vezi tabelul 3.7). Efortul de căutare și alegere a căii este dependent de procedeul folosit și prin urmare și el de topologia rețelei. El este egal cu zero în cazul procedurilor cu ancoră respectiv a procedurii VCT. Efortul depus pentru rerutarea dinamică proactivă și reactivă a arborelui de conexiuni virtuale VCT modificat și a DCOSDR se consideră constant și independent de topologie. Singurul procedeu ce conține o componentă dependentă de topologie rămâne NCNR (Nearest Common Node Routing), pentru cazul în care nu există o legătură directă între nodul actual și punctul de comutare. În acest caz trebuie efectuată o apropiere pas cu pas dinspre punctul terminus al conexiunii, testând fiecare nod de pe parcurs în ceea ce privește capacitatea sa de a funcționa ca și nod de comutare. Un exemplu numeric conținând valorile din tabelul 3.8 este prezentat în figura 3.20. Am luat în considerare și comparat cu procedeele discutate până acum o nouă variantă a procedurii VCT în care nu numai că este configurat în mod proactiv arborele, prin efectuarea de setări corespunzătoare în tabelele de rutare, dar sunt rezervate, direct la setarea conexiunii, și capacitățile din rețea necesare (resVCT).

După cum se poate observa, numai procedeele VCT cu rezervare de capacități respectiv NCNR cu legătură directă au o contribuție la latența de transfer independentă de topologia rețelei. În cazul VCT cu rezervare de capacități (resVCT,

figura 3.20) nu mai este necesară o prelucrare ulterioară a conexiunii, astfel încât contribuția sa la latența transferului este întotdeauna egală cu zero. Acest avantaj se obține însă cu prețul unui randament foarte scăzut în ceea ce privește folosirea resurselor deoarece din toate cele  $N$  conexiuni rezervate la un moment dat, numai una poate fi activă. În procedeul NCNR cu legătură directă către nodul comun cel mai apropiat este folosit întotdeauna acest link, deci  $N_{hop} = 1$ .

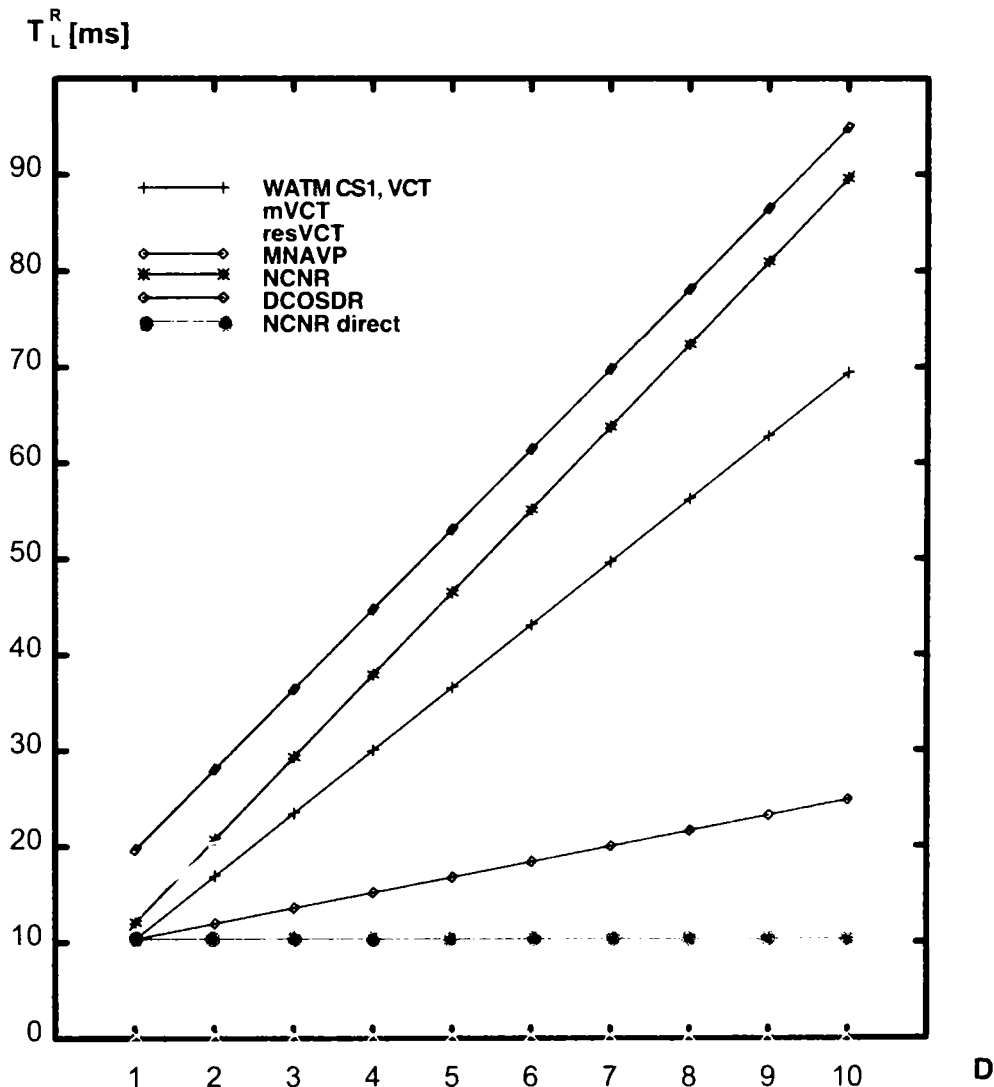


Figura 3.20: Contribuția rerutării la latența transferului, exemplu numeric

Procedeul cu ancoră bazat pe căi virtuale, MNAV, prezentat în această lucrare, prezintă o dependență relativ scăzută de topologia rețelei, datorată timpilor de parcurgere a rețelei de către diversele mesaje, fiind complet independent de

aceasta, în ceea ce privește timpul de prelucrare, datorită conexiunilor logice directe dintre MAS și COS/ACS.

Durata de timp totală specifică unui anumit procedeu este în principal determinată de componentele de prelucrare a mesajelor necesare setării conexiunii  $t_{\Delta s}$  și  $t_{\Delta p}$ . Întârzierea pe calea de transmisie dependentă de topologie este mai mică cu un ordin de mărime și deci devine importantă numai pentru rețelele mari. Durata de setare dependentă de numărul de segmente de rețea  $D$  predomină în toate procedeele. Ele se deosebesc în această privință numai prin efortul de căutare a unui nou punct de comutare.

Pe lângă aceste criterii mai sunt demne de luat în considerare și efortul de implementare și introducere în rețea precum și gestiunea resurselor. O analiză extinsă a procedeelelor de rerutare pentru a cuprinde și aceste aspecte are ca rezultat privirea de ansamblu sintetizată în tabelul 3.9.

**Tabelul 3.9:** Gestiunea resurselor la rerutare în rețele WATM

	MNAVP	WATM CS1 Ancoră	VCT modificat	VCT	NCNR	DCOSDR
<i>Grup</i>	Da	Da	Da	Condiționat	Nu	Nu
$\rho_R$	$0 \leq \rho_R \leq 1$	$0 \leq \rho_R \leq 1$	$0 \leq \rho_R \leq 1$	$0 \leq \rho_R \leq 1$	1	1
$N_e$	N+1	N+1	>N+1	N+1	>N+1	>N+1
$\rho_e$	$\rho_e \ll 1$	$\rho_e \ll 1$	$\rho_e \leq 1$	$\rho_e \ll 1$	1	1

Din punctul de vedere al terminalului mobil dar și din acela al nodului de rețea, un aspect deosebit de important al gestiunii resurselor unui procedeu anume îl constituie determinarea măsurii în care acesta se pretează la a fi utilizat în comandarea mai multor conexiuni (transfer în grup). Procedeele de rerutare cu ancoră fixă este de exemplu foarte adecvat în acest sens, deoarece folosind comanda centrală prin intermediul unui punct comun de comutare pentru toate conexiunile este redus la minim efortul per conexiune (setarea segmentului mobil corespunzător). O valoare și mai bună se obține în cazul procedeelelor MNAVP



prezentat, prin faptul că fiecare segment mobil este compus numai dintr-un singur segment VC (vezi paragrafele 3.4.1 și 3.4.2). Și procedeele bazate pe multicast posedă un nod central, ceea ce permite o comutare eficientă a unei întregi grupe de conexiuni. Rădăcina arborelui acestor procedee constituie punctul de tranziție spre segmentul fix al conexiunii și este identică pentru toate conexiunile aparținând unui domeniu (VCT) sau unui terminal mobil (VCT modificat). Astfel este posibilă o comutare eficientă dar cu prețul stocării în terminal, pentru fiecare conexiune în parte, a numerelor de identificare ale întregului arbore. În plus, și în rețea trebuie făcute multe modificări în tabelele de comutare ale nodurilor. Consumul de resurse de memorie este deci deosebit de mare în comparație cu procedeul VCT modificat sau în special cu procedeele cu ancoră. Alegerea dinamică a punctului de comutare se face, în cazul procedeelelor NCNR și DCOSDR, individual pentru fiecare VC în parte. Prin aceasta este implicit necesară o prelucrare completă a algoritmului de rerutare pentru fiecare VC. Un transfer în grup nu este posibil în aceste cazuri.

Motivul principal al definirii de metode de căutare dinamice a punctului de comutare la rerutare este optimizarea gestiunii resurselor [23]. Cu ajutorul unui procedeu dinamic se poate alege de exemplu ruta cea mai scurtă pentru oricare relație de trafic, proces deosebit de important pentru conexiunile mobil-mobil din interiorul unui domeniu de transfer. Procedeele NCNR și DCOSDR pot alege o rută mai eficientă decât cea presetată, trecând prin punctul de comutare, din procedeele cu ancoră. Efortul suplimentar datorat rutei indirecte, prin ancoră, este în mare măsură dependent de topologia rețelei și de relațiile de trafic din cadrul acesteia.

Consumul de resurse, necesar pentru o conexiune dată, se poate exprima prin costurile  $C$  cauzate în rețea. Aceste costuri pot fi, de exemplu, capacitățile rezervate sau folosite sau numărul de sisteme de transmisie fizice prin care s-a setat conexiunea. Costurile sunt direct dependente de lungimea căilor. Considerăm  $C_i$  ca fiind costurile unei căi  $i$  din mulțimea  $\mathfrak{R}$  a tuturor căilor posibile dintre două puncte terminus. În acest caz putem defini gestiunea resurselor  $\rho_R^x$  pentru o rutare concretă  $x$  ca fiind:

$$\frac{1}{\rho_R^x} = \frac{C_x}{\min_{i \in \mathfrak{R}}(C_i)} \quad (19)$$

Dacă un procedeu de rerutare permite întotdeauna alegerea căii având un consum de resurse minim, atunci acest coeficient este întotdeauna egal cu 1, acesta fiind cazul în ceea ce privește procedeele NCNR și DCOSDR. Ele nu posedă nici un fel de restricții sau condiții marginale în ceea ce privește procesul de căutare a unei noi rute, așa încât se poate căuta întotdeauna pentru fiecare pereche de puncte terminus calea optimă din punct de vedere a costurilor. În comparație, procedeele cu ancoră introduc restricții în algoritmul de căutare, în sensul că o conexiune trebuie neapărat setată prin nodul ancoră. O valoare egală cu 1 în ecuația de mai sus poate fi de aceea atinsă numai în condiții foarte avantajoase, în care avem de-a face cu un amplasament favorabil al anorei și pe deasupra punctul terminus se află în afara domeniului de ancoră.

Un aspect cu totul deosebit al economiei de resurse îl constituie efortul cauzat de introducerea accesului fără fir al abonaților mobili într-o rețea ATM. Pe lângă costurile datorate stabilirii infrastructurii pentru o rețea de acces prin radio, este interesant de determinat numărul de noduri din rețea care trebuie să posedă funcții de suport al mobilității ( $\rho_e, N_e$ ). Acesta este determinat de procedeu de rerutare folosit, cele mai eficiente procedee fiind în acest caz cele cu ancoră permanentă. La fiecare handover interzonal participă trei noduri: MAS-ul vechi și nou precum și nodul ancoră ACS. Ca urmare avem nevoie, în interiorul unui domeniu de handover, de  $N$  noduri MAS cu suport al mobilității și de cel puțin un ACS. Toate celelalte noduri pot fi noduri ATM obișnuite. Procedeu VCT modificat se deosebește aici de celelalte procedee cu ancoră, deoarece neavând o rădăcină permanentă a arborelui, trebuie să actualizăm și dotăm cu suport de mobilitate, pentru a realiza un câștig, un mare număr dacă nu chiar toate nodurile rețelei. Dacă reducem numărul de noduri actualizate la unul singur, atunci avem de-a face cu un procedeu VCT obișnuit, singura diferență constând în faptul că arborele este adaptat după fiecare transfer executat. Numai dacă avem la dispoziție mai multe COS-uri, atunci arborele dinamic poate fi adaptat flexibil la mobilitatea abonatului și topologia rețelei. Cel mai mare câștig este realizat atunci când toate nodurile rețelei sunt extinse pentru a deveni noduri de comutare, așa cum este cazul în cadrul procedeelelor dinamice de rerutare NCNR sau DCOSDR.

### 3.7 Concluzii

În acest capitol s-au tratat aspectele cu privire la mecanismele de rerutare ca și componentă esențială a mobilității într-o rețea ATM. Autorul enumeră cerințele ce se impun asupra procedelor de rerutare, constatând divergența performanțelor ridicate cu economia de resurse. El analizează și sistematizează procedeele de rerutare, prezentând avantajele și dezavantajele metodelor statice respectiv dinamice de rutare și alegere a punctului de comutare. Autorul face, în acest context, o delimitare în patru categorii principale de mecanisme de rerutare, primele trei restabilind într-un fel sau altul conexiunea (complet, incremental sau prin multicast) iar ce-a de-a patra categorie prelungind-o. Aceste mecanisme nu impun un procedeu anume de căutare, ele stabilind numai segmentul mobil și cel fix și deci implicit ruta parțială pentru care trebuie căutată o alternativă prin rețea. Autorul concluzionează faptul că aceste categorii de rerutare analizate reprezintă de fapt o combinație între procedeele de căutare a unei noi căi și cele de alegere a punctului de comutare. Deasemenea, se efectuează o analiză a procesului de comutare a căilor parțiale ca element final al procesului de rerutare.

În continuarea capitolului autorul introduce un nou procedeu de rerutare, eficient din punct de vedere al latenței transferului conexiunii, bazat pe o ancoră permanentă și un arbore de căi virtuale VP. Acest procedeu, denumit Mobile Network Architecture based on Virtual Path (MNAVP), descrie o arhitectură posibilă de rețea ATM bazată pe căi virtuale, distribuită pe trei nivele: nivelul stațiilor de bază RAP, nivelul nodurilor ATM cu suport al mobilității MAS și nivelul nodurilor ancoră cu caracter permanent ACS, conectate între ele prin căi directe semipermanente VPC. Arborele de căi virtuale nu este specific unui circuit VC anume, resursele înglobate în el putând fi alocate în mod flexibil tuturor conexiunilor aparținând aceluși domeniu de ancoră. Beneficiul avut de pe urma căilor directe, dinainte stabilite, din acest arbore VP, este un efort foarte redus depus la rerutare, așa încât latența de transfer este redusă la un nivel minim, practic independent de topologia rețelei. Arhitectura de rețea mobilă MNAVP oferă avantajele unui procedeu proactiv de rerutare fără a avea dezavantajele acestuia în ceea ce privește economia de resurse, singurul compromis făcut în acest sens fiind introducerea ancorei fixe.

Prin crearea unei subdiviziuni logice a rețelei, bazată pe căi virtuale VP, în interiorul unui domeniu de ancoră, este posibilă dirijarea și adaptarea flexibilă a traficului de rerutare la cerințele pe termen lung din rețea. Un domeniu de ancoră poate fi extins printr-o interconectare logică multiplă chiar și peste granițele sale fizice, fiind posibilă chiar și o suprapunere parțială a unor domenii alăturate. În lucrarea de față autorul propune utilizarea suprapunerii logice a domeniilor de ancoră pentru a introduce o histereză de handover, cu scopul de a reduce numărul de transferuri consecutive între aceste domenii. Analiza comparativă a histerezei de transfer s-a făcut cu ajutorul unui model Markov discret ce descrie succesiunea transferurilor. Este determinat un câștig de histereză ca fiind factorul cu care se reduce frecvența unui transfer interzonal în funcție de probabilitățile de stare ale diverselor transferuri consecutive. Se constată că procedeele de rerutare bazate pe VP sunt ineficiente în cazul unei mobilități ridicate a terminalelor, având o structură ierarhică impusă de existența ancorelor ACS fixe. Ele se pretează a fi utilizate în rețelele de tip WAN sau la introducerea treptată a mobilității în rețele ATM existente.

În final autorul prezintă și compară cu procedeul MNAVP patru alte procedee reprezentative de rerutare. Comparația se face utilizând un set de parametri de evaluare a efortului depus în rețea la rerutare. Autorul constată că toate procedeele, cu excepția celui ierarhic bazat pe arborele de conexiuni virtuale VCT, sunt proiectate pentru o utilizare în rețele WAN. Din punct de vedere al latenței de transfer, procedeul cu ancoră MNAVP este relativ independent (pentru timpii de parcurgere a rețelei de către mesajele de semnalizare) sau chiar complet independent de topologia rețelei (pentru timpul de prelucrare a acestora), datorită conexiunilor logice directe dintre MAS și COS respectiv ACS.

## 4 Transfer fără pierderi în rețele de tip ATM mobil

În capitolul anterior s-a analizat situația cu privire la handover, din punctul de vedere al planului de conexiuni. Aspectele principale tratate în acest plan sunt: rerutarea parțială a segmentului mobil și comutarea de pe segmentul mobil vechi pe cel nou.

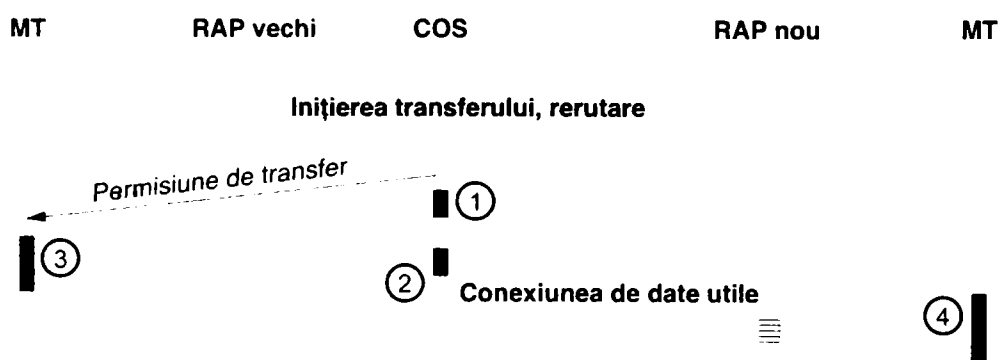
Ca rezultat se obține sau o gestiune optimă a resurselor sau o latență de transfer redusă, în funcție de gradul de proactivitate sau reactivitate al procedurii de rerutare ales. Pe de altă parte, comutarea segmentului mobil are o mare influență asupra fluxului de celule ATM, prin comutare putând lua naștere duplicări sau pierderi de celule. Ordinea de transmitere a celulelor trebuie respectată pe durata comutării iar întârzierile pe calea de transmisie trebuie să se mențină în interiorul toleranțelor admise. Deci, după cum se poate observa, în cazul unui transfer al conexiunii avem de-a face nu numai cu problemele cauzate de rerutare ci și cu o serie de alte probleme la nivel de celulă, ce necesită a fi rezolvate. Deoarece este vorba, în final, de o depreciere a calității serviciilor oferite, care trebuie evitată cu orice preț, în literatura de specialitate, se face deosebirea între un transfer fără pierderi de informație și unul cu pierderi. Cele mai multe din procedeele propuse în literatură, pentru transferul WATM, sunt cu pierderi sau introduc, pentru a le anula, limitări în ceea ce privește funcționalitatea. În cele ce urmează se vor discuta situațiile în care apar pierderi de celule, se vor analiza motivele ce stau la baza producerii lor și în final se va propune un nou procedeu de handover WATM, fără pierderi, flexibil în privința cerințelor privind calitatea serviciilor și capacității de adaptare a tipului de handover. Este de menționat, că analiza are în vedere numai cazul transferului interzonal.

### 4.1 Comutare, sincronizare, pierderi sau duplicări de celule

Tipul de handover cel mai des menționat și utilizat pentru un sistem WATM este un transfer înapoi (“backward-handover”) hard [9][148][159][167][185]. Necesitatea unui transfer înainte (“forward-handover”) este negată în anumite lucrări, în special când se vorbește de rerutarea bazată pe cel mai apropiat nod

comun ("nearest common node rerouting", NCNR) [7][8][9]. Totuși, dat fiind faptul că se întâlnesc și multe păreri contrare exprimate de alți autori precum și în cadrul forumului ATM [55][159][177][211], transferul înainte va fi, în cele ce urmează, luat în considerare.

Din momentul în care, în cadrul procesului de rerutare, a fost fixat un punct de comutare, s-a ales o nouă cale spre punctul de acces la rețea și s-a stabilit un circuit VC pentru noul segment mobil, avem de-a face cu două conexiuni de date separate pentru datele utile ale conexiunii ce e pe punctul de a fi transferată. Acesta este momentul la care se comută de pe calea veche pe cea nouă. Procesul de comutare se desfășoară atât în COS, prin actualizarea tabelor de comutare cât și în terminalul mobil, prin efectuarea transferului fizic la interfața radio, cu alte cuvinte prin înregistrarea la stația de bază RAP nouă și activarea de noi resurse radio. Aceste două componente ale procesului de transfer nu se pot însă desfășura sincron, din cauza întârzierilor inerente pe căile de semnalizare precum și a duratei diferite de prelucrare a mesajelor în COS respectiv MT. Pentru o analiză mai exactă trebuie făcută o diferențiere între uplink și downlink. Schemele de principiu ale transferului înainte (forward handover) respectiv înapoi (backward handover) sunt prezentate în figurile 4.1 și 4.2.

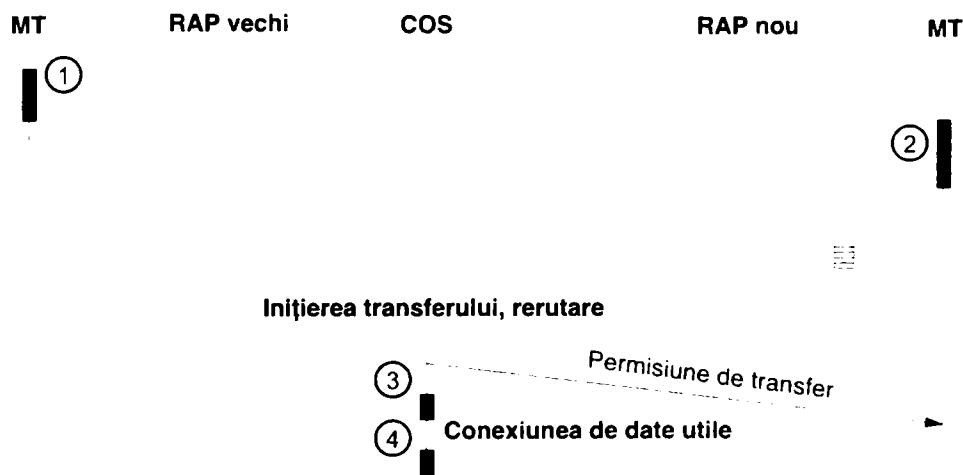


**Figura 4.1:** Procese de comutare în COS și MT la transferul înapoi

Rerutarea în rețea și permisiunea de a efectua transferul de la punctul de comutare COS la terminalul mobil (HO\_RELEASE din figura 2.12) se efectuează în cazul transferului înapoi (backward handover) după ce MT-ul a detectat o situație de

handover și a inițiat această procedură. Recepționând această permisiune, se comută fluxul de date utile (figura 4.1): după trimiterea permisiunii de efectuare a handover-ului, COS-ul termină conexiunea veche (1) și inițiază un nou segment mobil pe care îl unește cu cel fix (2). Celulele conținând date utile pot fi deja rutate în downlink spre terminalul mobil și memorate intermediar în stația de bază RAP, până când MT-ul este pregătit să le recepționeze pe noua cale radio. După o scurtă întârziere inerentă, terminalul mobil trebuie să întrerupă, la primirea permisiunii de transfer, conexiunea prin radio cu RAP-ul vechi (3) și să stabilească una cu stația de bază nouă (4). Numai după scurgerea acestui timp “mort” avem din nou o conexiune continuă pe segmentul mobil iar terminalul este în măsură să transmită și recepționeze date utile.

În cazul transferului înainte (forward handover), ordinea de desfășurare a rerutării și de stabilire a unei noi conexiuni prin radio este inversă. Toate celelalte procese se petrec analog cu cele descrise la transferul înapoi (figura 4.2).



**Figura 4.2:** Procese de comutare în COS și MT la transferul înainte

Ca urmare a degradării abrupte a semnalului recepționat, terminalul mobil termină conexiunea prin radio existentă (1), și stabilește o nouă conexiune cu una din stațiile de bază învecinate (2). Datele utile se pot memora intermediar, în direcția uplink, în MT sau RAP, până când transferul a fost inițiat și rerutarea dusă la bun stârșit. De îndată ce rerutarea a fost încununată de succes (FW\_HO\_RESPONSE, CONN\_ACTIVE din figura 2.14), COS-ul acordă permisiunea de efectuare a



transferului. Concomitent cu acordarea permisiunii de transfer, punctul de comutare conectează segmentul fix la noul segment mobil (3) și dezactivează vechea conexiune de date în up- și downlink (4). Terminalul mobil poate șterge de acum memoria intermediară, trecând la transmisia normală de date.

Din cauza comutării nesincronizate iau naștere, atât la backward cât și la forward handover, situații în care se pot pierde celule (vezi figura 4.3):

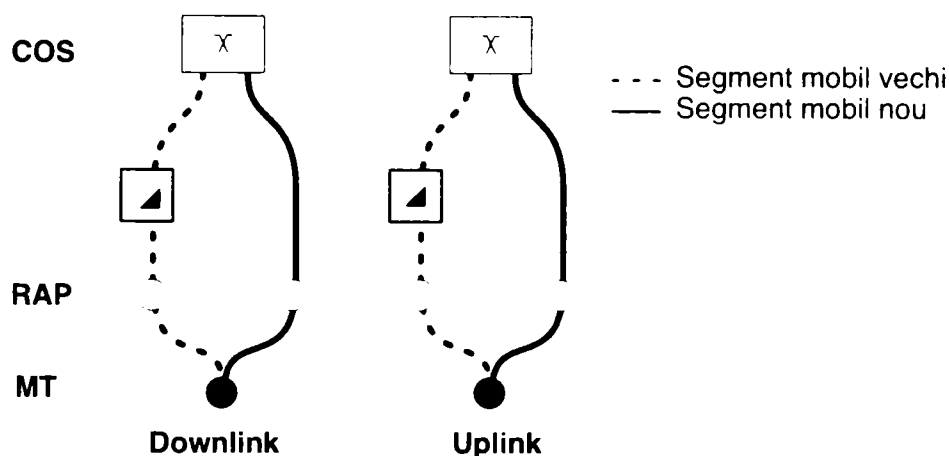
- În downlink iau naștere pierderi atunci când terminalul mobil dezactivează conexiunea radio cu stația de bază veche, fără a fi recepționat toate celulele aflate încă în tranzit pe calea de transmisie din direcția MT-ului, ca urmare a întârzierilor pe calea de transmisie și a procesului de memorare intermediară a lor. Terminalului mobil nu i se poate comunica, în mod direct, câte celule mai sunt de recepționat, deoarece celulele ATM nu sunt marcate individual. Numărul de celule ce se pierd în cazul unui transfer înapoi este determinat și totodată limitat de întârzierea de comutare în COS care reprezintă intervalul de timp scurs între expedierea permisiunii de efectuare a transferului și comutarea conexiunii de date utile pe noul segment mobil.
- În uplink iau naștere în mod similar pierderi de celule prin comutarea COS-ului. Celulele aflate în tranzit nu pot fi înregistrate și deci nu se știe, dacă toate celulele transmise de MT pe vechiul uplink au ajuns în rețea. Parametrii esențiali în acest context sunt întârzierea pe calea de transmisie, întârzierea la comutarea în COS și întârzierea la handover în terminalul mobil.

Cauza principală a acestor pierderi de celule este întârzierea la transmisie pe vechiul segment mobil, la care se adaugă alte două componente importante:

- la transferul înapoi iau naștere pierderi suplimentare datorită timpului mort la transfer, determinat de terminalul mobil. Dacă noua stație de bază recepționează celule ATM în downlink, înainte de a se fi încheiat transferul fizic, acestea vor fi rejectate în absența unui buffer de memorie. Mărimea acestor pierderi este determinată de întârzierea pe calea de transmisie a noului segment mobil, întârzierea la comutare în COS precum și timpul mort la handover din MT.



- la transferul înainte este întreruptă conexiunea radio înainte de a fi inițiată rerutarea. Latența de transfer produce prin aceasta o pierdere de celule ce este dependentă de procedeul de rerutare ales și de topologia rețelei.



**Figura 4.3:** Situație de transfer cu pierderi

Diferența dintre timpul de parcurgere a segmentului vechi și respectiv a celui nou are un rol decisiv în cazul pierderilor de celule, în special la transferul înapoi. Ea mai este răspunzătoare și de fenomenul de depășire a unor celule, dacă celulele ajung la destinație pe noua cale mai repede decât pe cea veche. În acest caz nu mai este respectată ordinea de transmitere a celulelor:

- în downlink se respectă ordinea de transmisie a celulelor, deoarece la orice moment dat există numai o singură conexiune prin radio activă. Prin aceasta se asigură recepția, de către terminalul mobil, a datelor utile în ordinea în care au fost transmise de COS. Chiar dacă se pierd unele celule, ordinea în care ele au fost transmise nu este alterată.
- același principiu este valabil și pentru ordinea celulelor în uplink. Utilizând un mecanism exclusiv sau atomic de comutare similar celor descrise în paragraful 3.3.5, există, la un moment dat, numai o singură cale activă, iar ordinea de transmisie poate fi garantată. La comutarea simultană sunt active, pentru o perioadă foarte scurtă de timp, ambele segmente, cel vechi și cel nou, astfel încât, teoretic, sunt posibile “depășiri” ale unor celule pe traseu. În practică, timpul de comutare în COS și durata transferului fizic pe

interfața radio sunt însă, de același ordin de mărime, așa încât “depășirile” de celule devin improbabile dacă nu chiar imposibile.

Considerațiile de până acum s-au făcut plecând de la ipoteza că, la un moment dat, există o singură cale activă între terminalul mobil și punctul său de comutare, respectiv, că se execută un singur transfer. Condițiile, permanent schimbătoare, de câmp electromagnetic determină însă de cele mai multe ori declanșarea mai multor operații de transfer consecutive între două celule spațiale învecinate (transfer “ping-pong”). În această situație este favorabilă păstrarea în stare activă, concomitent, a părților fixe ale segmentului mobil vechi și nou, până când condițiile de recepție a semnalului s-au stabilizat. Pentru aceasta se activează, în punctul de comutare, o funcție de duplicare ce facilitează o transmitere dublă, un “dualcasting” în downlink al celulelor conținând informația utilă. Terminalul mobil comută permanent între aceste două căi. Și în uplink se combină în mod corespunzător fluxurile de celule aparținând celor două căi. Complexitatea mărită a mecanismului de transmisie produce o creștere a probabilității de apariție a pierderilor sau duplicării unor celule, precum și a nerespectării ordinii de transmisie.

În cele ce urmează se pleacă de la ipoteza că stația de bază nu efectuează o memorare intermediară a celulelor ATM în cazul unui transfer “ping-pong”, nici măcar în cazul extrem în care nu mai există nici o conexiune radio activă cu terminalul mobil. Se vor păstra denumirile de segment mobil vechi și nou, chiar dacă se comută permanent numai între aceste două segmente. În principiu avem de-a face cu două situații diferite, în funcție de întârzierea mai mică (figura 4.4) sau mai mare (figura 4.5) ce ia naștere pe segmentul mobil:

- în downlink se înregistrează pierderi de celule în cazul în care, la comutarea pe noul segment, acesta prezintă un timp de propagare mai scurt decât vechiul segment (cazul 1 din figura 4.4). La aceasta se adaugă un timp mort al transferului fizic cu o valoare finită, diferită de zero. Și în această fază se rejectează celule conținând informație utilă. În cazul contrar, în care timpul de propagare este mai lung, pierderile de celule apar la comutarea pe segmentul vechi (cazul 2 din figura 4.5). Ca urmare, aceste pierderi nu mai sunt determinate de întârzierea absolută a unei căi anume ci de diferența dintre timpii de propagare și de timpul mort înregistrat la handover. În direcția opusă, în uplink, nu se înregistrează pierderi.

- în uplink se înregistrează mai ales schimbări ale ordinii de transmitere a celulelor, în ipoteza în care timpul mort al transferului fizic este mai mic decât diferența dintre timpii de propagare. În acest caz nu se poate garanta respectarea ordinii de transmitere a celulelor, nici la comutarea înainte (cazul 1 din figura 4.4), nici la cea înapoi (cazul 2 din figura 4.5).

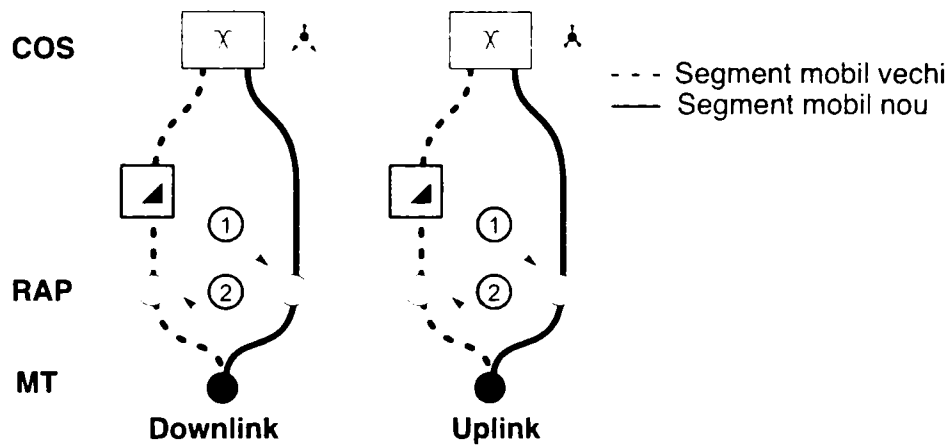


Figura 4.4: Timp de propagare mai scurt al noului segment

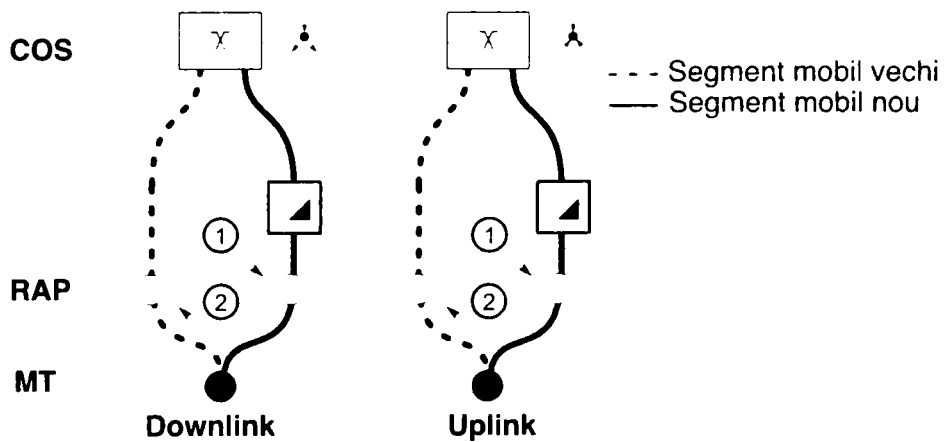


Figura 4.5: Timp de propagare mai lung al noului segment

- în mod similar pot lua naștere, în downlink, la comutarea de pe un segment cu timp de propagare mai scurt pe un segment cu timp de propagare mai lung (cazul 2 din figura 4.4 respectiv cazul 1 din figura 4.5), duplicate ale celulelor, în ipoteza în care timpul mort al transferului fizic este mai mic decât

diferența dintre timpii de propagare. În uplink nu iau naștere duplicate ale celulelor.

După cum s-a putut vedea din discuția de până acum, transferurile hard aduc cu sine unele dezavantaje, mai ales în cazul unei succesiuni rapide de transferuri ping-pong. Pentru compensarea lor s-a introdus conceptul de transfer soft, procedeu ce prevede stabilirea concomitentă a două căi între terminalul mobil și COS, terminalul fiind în măsură de a comunica simultan cu două stații de bază. Datele utile sunt duplicate și transmise redundant atât în uplink cât și în downlink. În funcție de situația momentană privind acoperirea în câmp, se selectează printr-un proces adaptiv semnalul calitativ mai bun, sau se combină cele două semnale atât în terminalul mobil cât și în stația de bază, rezultând un câștig de aproximativ 5 dB. Condiția impusă sistemului este ca interfața radio să permită această comunicare în paralel, în mod sincron, cu cele două stații de bază sau ca să permită o sincronizare la cele două capete, în MT și COS. Problema o constă faptul că celulele ATM nu poartă în ele informație de sincronizare, cum ar fi de exemplu un cod de numerotare, așa încât un transfer soft în WATM nu se poate realiza fără anumite măsuri suplimentare.

## 4.2 Estimarea frecvenței de pierdere a celulelor la transferul cu pierderi

Din motive de complexitate, metoda favorizată și deasemenea recomandată în standardele în vigoare [1][20][177][189], este cea a transferului de tip hard fără măsuri suplimentare de evitare a pierderilor de celule. Ea este privită ca fiind singura metodă realizabilă cu arhitectura nodurilor ATM actuale, arhitectură ce nu permite implementarea unui transfer fără pierderi [25][129].

Efectuarea unui transfer al unor conexiuni ATM virtuale, implică deci luarea în considerare a unor erori, care sunt în principal pierderi de celule ca urmare a limitărilor tehnologice. Greșelile de proiectare pot conduce și la duplicări sau la schimbarea ordinii corecte de transmisie (vezi paragraful anterior). Elaborarea unor noi tehnologii trebuie să țină cont de aceste deficiențe și să încerce minimizarea lor [20]. După cum se va vedea în cele ce urmează, acest țel este realizabil numai în parte și anume numai pentru una din cele două direcții de transmisie.

În paragraful ce urmează se va analiza situația în ceea ce privește comutarea la nivel de celulă ATM și se va face o estimare a frecvenței medii de pierdere a celulelor ATM în cazul unui transfer cu pierderi.

#### 4.2.1 Calculul perioadei de vulnerabilitate

Se consideră cazul cel mai favorabil al transferului înapoi ("backward handover", figura 4.6). Dacă condițiile de câmp electromagnetic nu se schimbă foarte rapid, atunci terminalul mobil este capabil de a menține conexiunea dată un timp suficient de lung. De îndată ce s-a încheiat procesul de rerutare, COS-ul dă comanda de executare a transferului (1) și comută segmentul mobil. După scurgerea perioadei de timp reprezentată de întârzierea de comutare  $t_{\Delta COS}$ , celulele ATM care urmează să fie transmise sunt direcționate spre noul RAP (2). Aceste celule vor fi rejectate de către acesta până în momentul stabilirii unui canal radio către terminalul mobil (dacă nu există posibilitatea de stocare intermediară). Acesta este și momentul în care trebuie să înceteze transmisia celulelor ATM spre RAP-ul vechi (3).

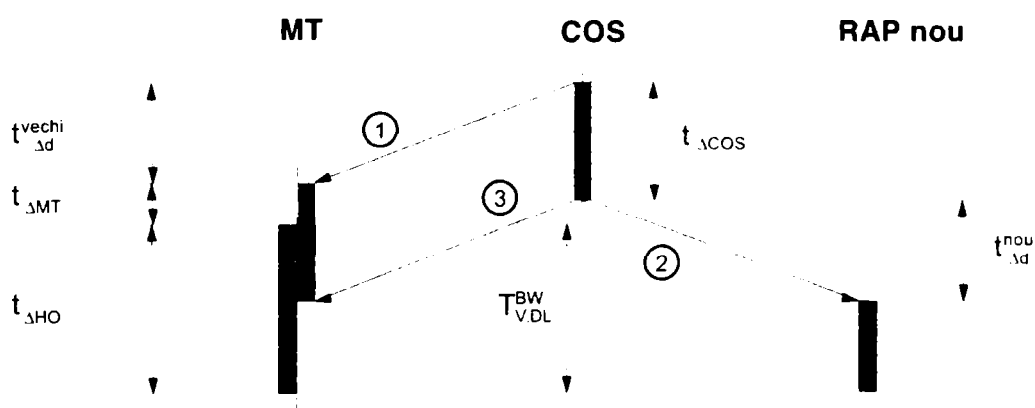


Figura 4.6: Contribuții la pierderile de celule în downlink la transferul înapoi

Terminalul mobil recepționează permisiunea de a efectua un transfer și deconectează canalul radio după o scurtă perioadă de "reflecție" (întârzierea de transfer  $t_{\Delta MT}$ ). Din acest moment, toate celulele ce mai sunt transmise în canalul vechi trebuie rejectate de către RAP. Terminalul mobil este din nou gata de recepție

prin intermediul noii stații de bază după scurgerea unei alte perioade de timp  $t_{\Delta HO}$  dependente de tehnologie și de protocoalele specifice interfeței radio.

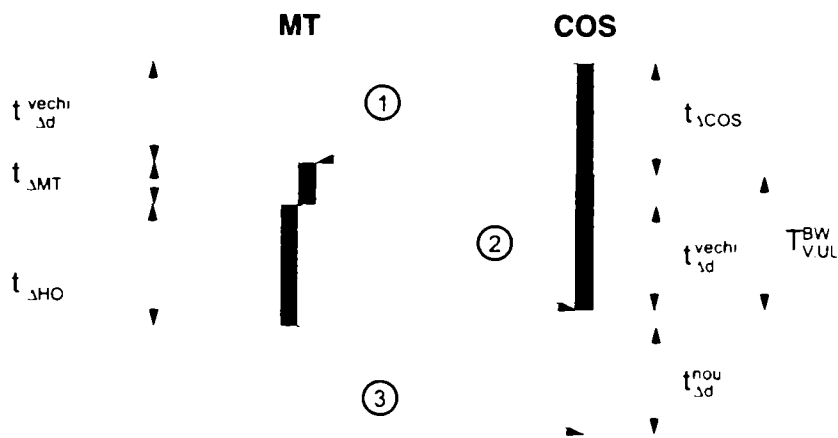
Pe baza acestui scenariu se poate calcula perioada de vulnerabilitate a transferului înapoi. Perioada de vulnerabilitate se poate defini ca fiind intervalul de timp în care pot apare pierderi de celule. Prin multiplicarea perioadei de vulnerabilitate cu rata de transmisie a datelor, pentru o anumită conexiune, se obține valoarea absolută a pierderilor de celule la transfer. Aceasta se calculează, în ipoteza că mesajele de semnalizare au aceeași întârziere pe calea de transmisie ca și datele utile, utilizând relația:

$$T_{V,DL}^{BW} = \max((t_{\Delta COS} - t_{\Delta MT}), 0) + \max((t_{\Delta d}^{vechi} + t_{\Delta MT} + t_{\Delta HO} - t_{\Delta COS} - t_{\Delta d}^{nou}), 0) \quad (20)$$

Termenul al doilea al sumei este nul dacă stația de bază posedă o memorie buffer de stocare intermediară a datelor utile, până în momentul în care s-a stabilit o conexiune radio cu terminalul mobil. În cazul cel mai favorabil se pot elimina complet pierderile de celule la transferul înapoi în downlink ( $t_{\Delta COS} = 0$  și stocare intermediară în RAP-ul nou).

Perioada de vulnerabilitate ce rezultă din ecuația (20) se calculează pentru cazul cel mai favorabil, ce corespunde recepționării corecte de către terminalul mobil a mesajului de validare a transferului. Există însă și cazuri în care transferul backward este inițiat iar în momentul imediat următor scade drastic nivelul semnalului recepționat. Un protocol robust de transfer trebuie să fie în măsură de a termina handover-ul deja început. Acest lucru este posibil dacă rerutarea a fost deja încheiată. În caz contrar este necesară întreruperea tranzacției în curs de desfășurare, urmată de întreruperea convorbirii sau de un transfer înainte. În condițiile în care există o conexiune stabilă între COS și noul RAP, MT-ul poate negocia comutarea conexiunii, cu MAS-ul corespunzător. În același timp COS-ul a emis mesajul de validare a transferului și același COS a întrerupt downlink-ul vechi. Numărul maxim de celule conținând date utile ce pot fi pierdute printr-un handover abrupt este determinat de produsul lățime de bandă - întârziere, din downlink-ul segmentului mobil vechi. Considerând cazul concret al transferului înapoi din WATM CS 1 (vezi și figura 2.12), această situație corespunde momentului imediat următor recepționării informației conținând țelul transferului (BW\_HO\_RESPONSE) și înainte de a recepționa confirmarea definitivă a efectuării rerutării (HO\_RELEASE).

Folosind aceeași metodă se poate calcula perioada de vulnerabilitate la transferul înapoi pentru uplink (figura 4.7). După emiterea mesajului de validare a transferului (1), COS-ul comută segmentul mobil. La recepționarea acestei permisiuni de către MT, acesta transmite, cel târziu după expirarea perioadei de întârziere inerente, ultimele sale date utile (2) pe calea veche, pentru a comunica mai apoi, după scurgerea timpului mort datorat transferului fizic, cu RAP-ul nou (3).



**Figura 4.7:** Contribuții la pierderile de celule în uplink la transferul înapoi

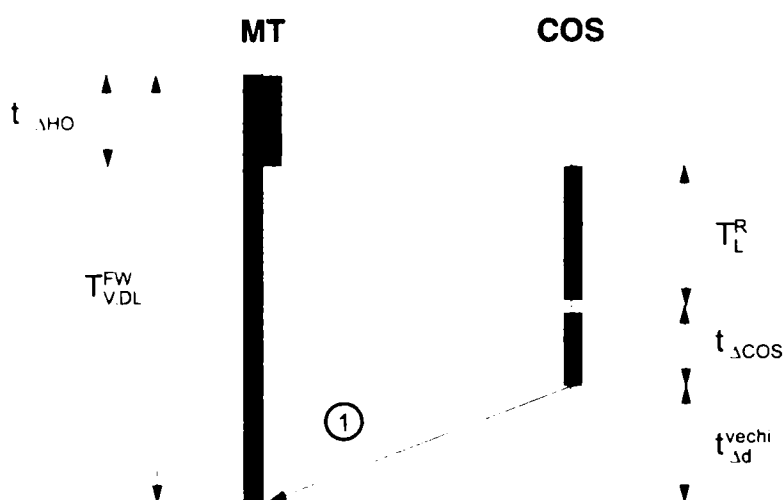
Se poate deduce în mod analog formula de calcul:

$$T_{V,UL}^{BW} = 2 \cdot t_{\Delta d}^{vechi} + t_{\Delta MT} - t_{\Delta COS} \tag{21}$$

Contrar celor observate în cazul downlink-ului, comutarea rapidă în COS este aici nedorită deoarece conduce la o perioadă de vulnerabilitate prelungită și prin aceasta la mărirea numărului de pierderi de celule. În downlink pierderile pot fi eliminate complet, ele crescînd însă, după cum se poate vedea, în uplink, la o valoare echivalentă cu de două ori produsul lățime de bandă - întârziere.

În cazul unui transfer înainte, COS-ul transmite în continuare, pe durata procesului de rerutare, celule ATM pe segmentul mobil vechi, chiar dacă la capătul acestuia conexiunea radio este deja întreruptă. Transferul înainte este procedeu proiectat pentru a face față unor astfel de scenarii în care are loc o cădere bruscă a nivelului semnalului recepționat ce conduce la întreruperea conexiunii, fără a mai exista timpul fizic necesar pentru a semnaliza în mod adecvat situația de urgență apărută. Din această cauză, mesajul de validare a transferului precum și cele

necesare comutării ca atare, pot fi transmise numai după ce s-a stabilit noua conexiune între COS și un nou RAP (figura 4.8). Ca urmare, sunt pierdute toate celulele ATM conținând date utile transmise în downlink (1) pînă în momentul terminării comutării (această perioadă de timp incluzând și întârzierea de comutare).



**Figura 4.8:** Contribuții la pierderile de celule în downlink la transferul înainte

Lanțența transferului și deci, în mod indirect, procedeul de rerutare folosit au, în cazul transferului înainte, o contribuție esențială la determinarea mărimii pierderilor de celule în downlink. Pentru perioada de vulnerabilitate se poate deduce relația:

$$T_{V,DL}^{FW} = t_{\Delta HO} + T_L^R + t_{\Delta COS} + t_{\Delta d}^{vechi} \quad (22)$$

Rerutarea folosind un procedeu cu ancoră poate conduce la o diminuare considerabilă a pierderilor de celule la transferul înainte. Punctului de comutare, deja fixat în momentul executării transferului, i se poate comunica, prin intermediul mesajelor de semnalizare aferente, existența unui transfer, pentru a seta un buffer pe durata procesului de rerutare. În uplink, memorarea intermediară poate fi executată atât de terminalul mobil cât și de noua stație de bază. Celulele aflate în tranzit pe vechiul segment mobil pot fi redirectionate cu succes de către COS, deoarece suma dintre timpul mort al transferului și lanțența acestuia este de regulă mult mai mare decât întârzierea pe calea de propagare. Ca urmare, în uplink iau

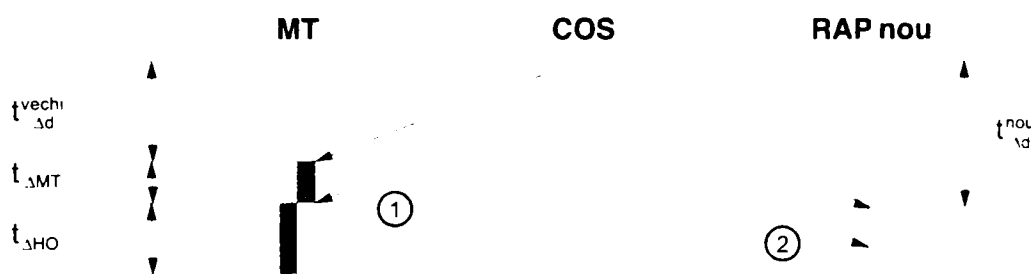


naștere pierderi numai dacă nu se face o memorare intermediară a celulelor, în RAP sau MT. Perioada de vulnerabilitate se calculează cu formula:

$$T_{V,UL}^{FW} = T_L^R + t_{\Delta COS} + t_{\Delta d}^{nou} \quad (23)$$

Capacitatea acestei memorii buffer de neutralizare a perioadei de vulnerabilitate poate fi considerabilă, fapt datorat latenței uneori mari a transferului (vezi și figura 3.20). Datorită dimensiunii mari a memoriei și timpului relativ mare de citire completă a ei, rezultă o plajă de variație a întârzierii celulelor pe calea de propagare, care nu mai permite o utilizare a acestui procedeu, pentru aplicații în timp real. Există însă alte aplicații în care cerințele restrictive de calitate privind pierderile de celule ATM, impun utilizarea unei astfel de memorii tampon.

Pentru a completa imaginea de ansamblu, se va prezenta pe scurt și cazul handoverului ping-pong. Situația în care apare un transfer repetat este prezentată schematic, în ceea ce privește downlink-ul, în figura 4.9.



**Figura 4.9:** Downlink-ul în cazul transferului ping-pong

Pentru a putea lua naștere duplicate ale celulelor este neapărat necesar să existe un proces de comutare de pe un segment cu timp de propagare mai scurt pe un segment cu timp de propagare mai lung. Dacă diferența de timp rămâne destul de mică, nu există duplicate. În acest caz este rejectată la RAP (2) ultima celulă care a ajuns la MT pe conexiunea radio veche (1), înainte de a putea fi recepționată de către terminalul mobil pe noua conexiune. Condiția de evitare a apariției duplicatelor este:

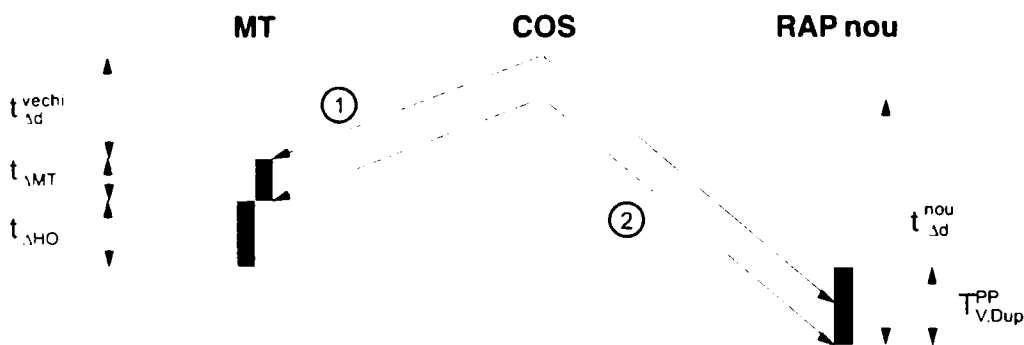
$$t_{\Delta d}^{vechi} + t_{\Delta HO} > t_{\Delta d}^{nou} \quad (24)$$

Desigur, respectarea condiției de mai sus nu împiedică apariția pierderilor de celule. Dacă ea nu este îndeplinită, atunci procesul de apariție a duplicatelor este cel din figura 4.10. Perioada de vulnerabilitate se calculează cu relația:

$$T_{V, Dup}^{PP} = \max((t_{\Delta d}^{nou} - t_{\Delta HO} - t_{\Delta d}^{vechi}), 0) \quad (25)$$

În mod similar se poate deduce o condiție în cazul schimbării ordinii de transmitere a celulelor:

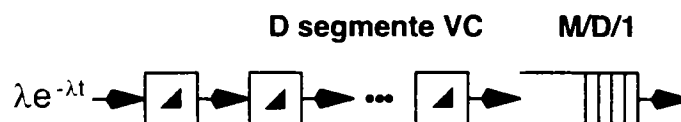
$$T_{V, Seq}^{PP} = \max((t_{\Delta d}^{vechi} - t_{\Delta HO} - t_{\Delta d}^{nou}), 0) \quad (26)$$



**Figura 4.10:** Exemplu de duplicare de celule - downlink la transferul ping-pong

#### 4.2.2 Estimarea frecvenței medii de pierdere a unei celule

În cele ce urmează se va lua în considerare numai componenta downlink a unei conexiuni mobile. Se presupune că, dacă nu se iau măsuri suplimentare de contracarare a pierderilor de celule utile, atunci numărul de celule ATM pierdute în medie pe durata unui transfer este egal cu produsul complet dintre lățimea de bandă și întârzierea pe calea de transmisie. Pentru estimarea acestor pierderi se va utiliza modelul segmentului mobil din figura 4.11.



**Figura 4.11:** Model al segmentului mobil

Segmentul mobil al unei conexiuni se compune dintr-un număr  $D$  de segmente de tip VC, număr dependent de topologia rețelei. Aceste segmente introduc o întârziere a fluxului de date utile pe parcursul căii de transmisie, direct proporțională cu numărul lor.

Interfața radio se va modela sub forma unei cozi de elemente în așteptare de tip M/ D/ 1. Acestui model al segmentului mobil  $i$  se aplică o sursă de date de tip Poisson.

Densitatea medie a erorii, la nivel de celulă, raportată la durata totală a legăturii  $p_c$  se poate exprima în funcție de rata medie a transferurilor  $\bar{R}_H$ , numărul mediu de celule pierdute la fiecare handover  $\bar{c}_H$  și rata medie de transmisie a celulelor aparținând conexiunii de date utile  $\lambda = \bar{R}_c$ , sub forma:

$$p_c = \frac{\bar{R}_H \cdot \bar{c}_H}{\bar{R}_c} \quad (27)$$

Dacă se presupune că numărul maxim de celule pierdute pe handover corespunde produsului complet dintre lățimea de bandă și întârzierea pe calea de transmisie, rezultă:

$$c_H^{\max} = D \cdot t_{\Delta d} \cdot \bar{R}_c + L_q^{\max} \quad (28)$$

unde  $L_q^{\max}$  reprezintă numărul maxim de elemente aflate în coada de elemente în așteptare M/ D/ 1.

Cozile de elemente în așteptare de tip M/ D/ 1 sunt șiruri de elemente care au ca și sursă un proces de tip Poisson (M- Markovian) iar timpul de deservire este constant (D-deterministic). Cifra 1 reprezintă numărul de servere.

Din teoria așteptărilor se poate determina  $L_q^{\max}$  bazat pe formula Polaczek-Khinchin:

$$L_q = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} (1 + C_x^2) \quad (29)$$

unde  $C_x$  reprezintă coeficientul de variație (valoare scalată a raportului dintre valoarea medie a distribuției timpului de așteptare și abaterea medie pătratică) iar  $\rho$

este coeficientul de utilizare al interfeței radio. În cazul cozilor de așteptare de tip M/D/1,  $C_x = 0$  (timpul de așteptare este constant) și deci relația (28) devine:

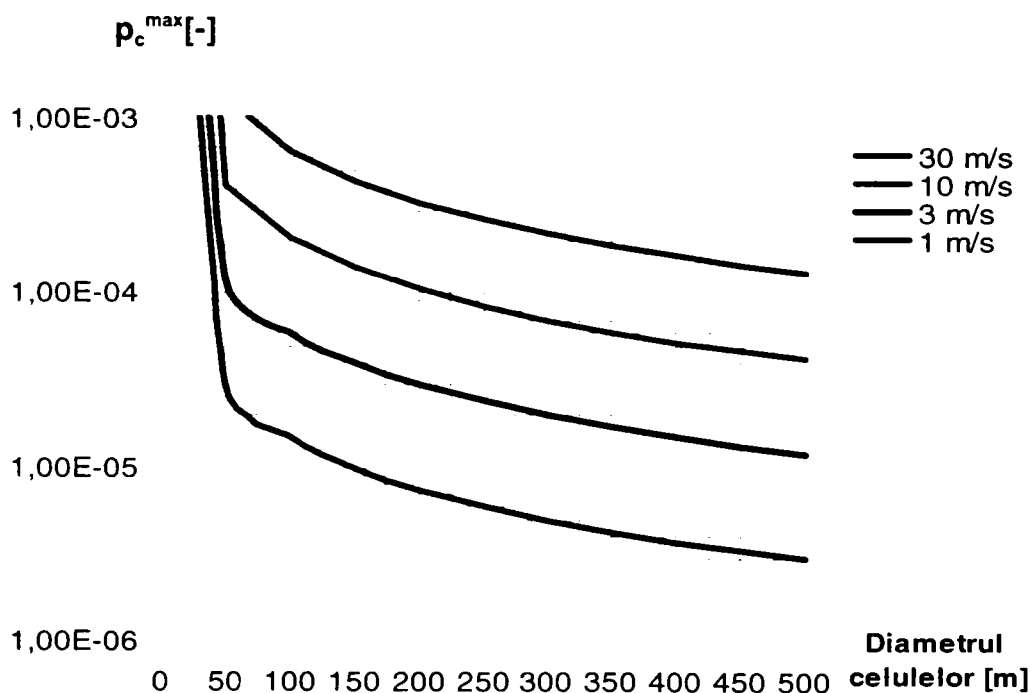
$$c_H^{\max} = D \cdot t_{\Delta d} \cdot \bar{R}_c + L_q^{\max} = D \cdot t_{\Delta d} \cdot \bar{R}_c + \frac{\rho}{1-\rho} (1 + C_x^2) = D \cdot t_{\Delta d} \cdot \bar{R}_c + \frac{\rho}{1-\rho} \quad (30)$$

Înlocuind valoarea lui  $c_H^{\max}$  din relația (30) în (27) se obține:

$$\rho_c^{\max} = \frac{\bar{v}}{\bar{d}} \left( t_{\Delta d} \cdot D + \frac{1}{\bar{R}_c} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} \right) \quad (31)$$

unde  $\bar{v}$  este viteza medie,  $\bar{d}$  - lățimea medie a celulelor iar  $\rho$  reprezintă factorul de încărcare al șirului M/D/1.

În figurile 4.12, 4.13 și 4.14 se prezintă rezultatele unui studiu parametric pentru determinarea densității medii de pierderi în cazul unui handover cu pierderi.

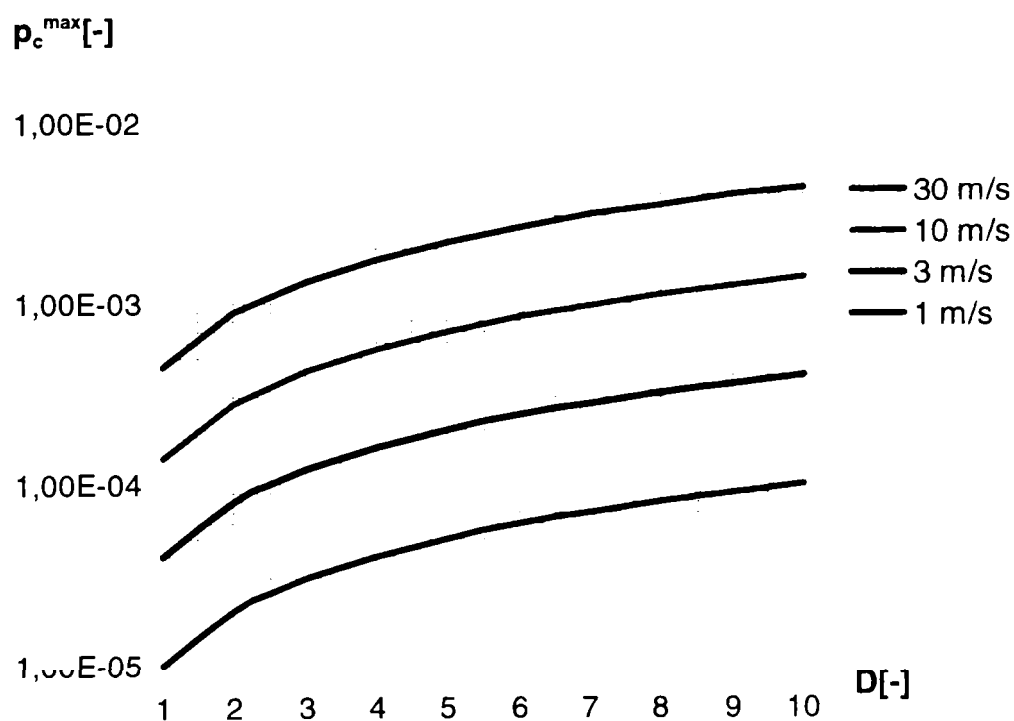


**Figura 4.12:** Frecvența medie de pierdere a celulelor ATM în funcție de diametrul mediu al unei celule radio

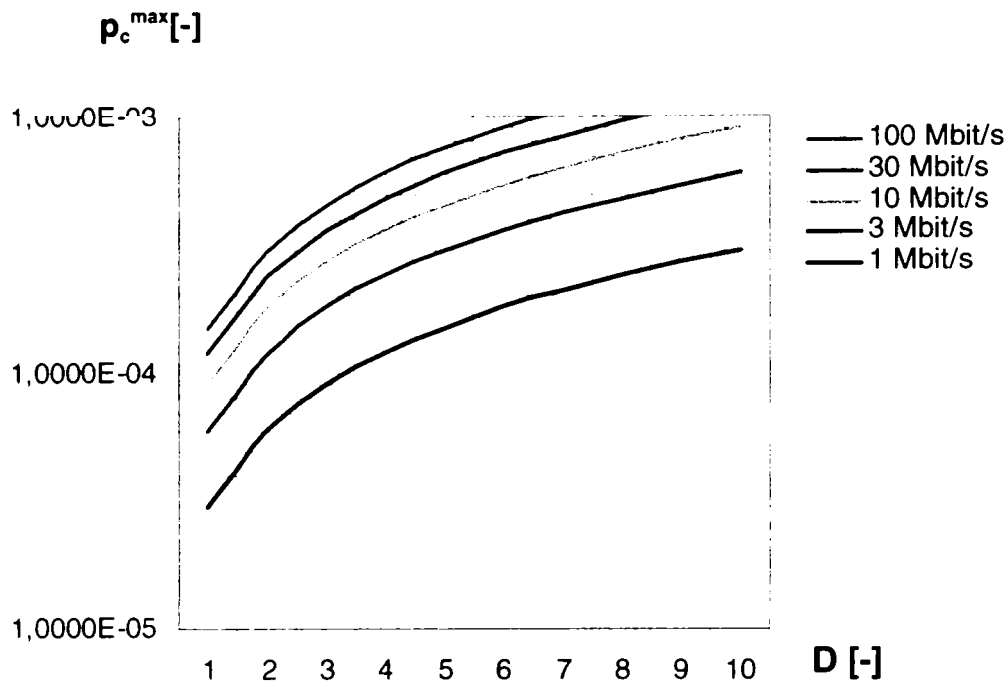
Datele folosite pentru trasarea curbelor sunt prezentate în tabelul 4.1, ele fiind considerate constante, exceptând situațiile în care reprezintă variabile ale diagramelor.

**Tabelul 4.1:** Parametrii exemplului de estimare a pierderilor de celule

Parametru	Valoare tipică	Semnificație
$\bar{R}_c$	3 Mbit/s	Viteza de transmisie a datelor
$\bar{v}$	3 m/s	Viteza medie de deplasare
$\bar{d}$	50 m	Diametrul mediu al celulelor
$D$	3	Numărul de segmente VC per segment mobil
$\rho$	0,9	Factorul de încărcare al șirului M/D/1
$t_{sd}$	0,5 ms	Întârzierea medie a fiecărui segment VC



**Figura 4.13:** Frecvența medie de pierdere a celulelor în funcție de lungimea segmentului mobil și viteza de deplasare



**Figura 4.14:** Frecvența medie de pierdere a celulelor în funcție de lungimea segmentului mobil și de viteza de transmisie a datelor

O concluzie importantă ce se desprinde din analiza acestor rezultate este faptul că un procedeu de transfer cu pierderi atrage după sine o frecvență medie de pierdere de celule, calculată pe toată durata conexiunii, de valoare ridicată.

Aceste valori au fost calculate numai pentru downlink, pot fi însă extrapolate în mod facil, cu ajutorul modelului din figura 4.11, pentru uplink.

Se constată că pierderile de celule sunt cu circa două ordine de mărime mai mari decât cele stabilite prin parametrii de calitate definiți pentru rețelele ATM [188]. În practică, situația este și mai defavorabilă, având în vedere faptul că pierderile datorate procesului de transfer nu sunt repartizate uniform pe toată durata conexiunii ci apar, concentrat, în momentul executării unui transfer. Pe durata acestuia se înrăutățește simțitor calitatea serviciilor oferite, transportul de celule conținând informație utilă fiind chiar întrerupt pentru o scurtă perioadă de timp. Măsurile suplimentare de protecție cum ar fi memorarea intermediară într-un buffer reușesc să diminueze acest efect. Celelalte probleme amintite: duplicările celulelor și perturbarea ordinii corecte de transmitere rămân însă nerezolvate, necesitând, la

rândul lor, alte măsuri suplimentare de contracarare. Din aceste motive s-a pus un accent deosebit, în literatura de specialitate, pe studiul transferului fără pierderi [42][118][134][148][159][172].

### 4.3 Transferul fără pierderi

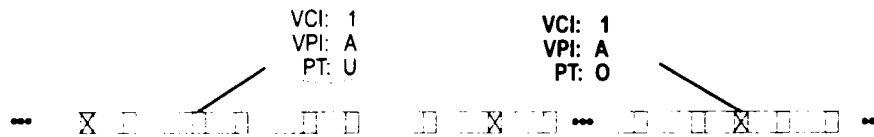
După cum s-a arătat în capitolul anterior, la efectuarea unui handover respectiv comutarea segmentului mobil apar diverse erori: pierderi de celule, duplicări de celule, inversarea ordinii corecte de transmisie. Procedeele de transfer ce au implementate funcții ce contribuie la diminuarea sau chiar dispariția acestor erori sunt denumite în cele ce urmează procedee de transfer fără pierderi. Aceasta nu înseamnă, însă, că ele nu influențează în mod negativ conexiunea. Comutarea segmentului mobil aduce cu sine, inevitabil, o modificare a timpului de propagare prin rețea a semnalului, modificare datorată structurii fizice a rețelei și care nu poate fi compensată. Măsurile de stocare intermediară ce evită blocajele celulelor ATM pe durata comutării, retransmiterea unor celule pierdute sau golirea unor buffere după comutare sunt procese cu efecte negative asupra caracteristicilor de timp real ale conexiunii. De aceea se poate face pe bună dreptate afirmația că este posibilă definirea un procedeu de transfer fără pierderi dar este imposibilă realizarea unui transfer fără perturbări. Aspectele multiple ale acestor perturbări pot fi analizate la nivel de celulă sau la nivel de conexiune [208]. Pe planul conexiunii, analiza se concentrează asupra preluării apelului și a managementului de calitate și trafic, pe când pe plan celular, analiza se referă la situațiile perturbatoare descrise anterior. În acest cadru se încadrează și procedeele de transfer fără pierderi ce vor fi analizate în cele ce urmează.

#### 4.3.1 Semnalizare de tip "in-slot"

Procedeele de handover fără pierderi, analizate în cele ce urmează utilizează metode de semnalizare "in-slot". Aceste metode se caracterizează prin multiplexarea informației de comandă și control în fluxul de date utile și sunt cunoscute din definiția managementului de eroare OAM al rețelelor ATM fixe. De aceea se vor descrie numai pe scurt principiile și funcțiile de bază, detaliile fiind

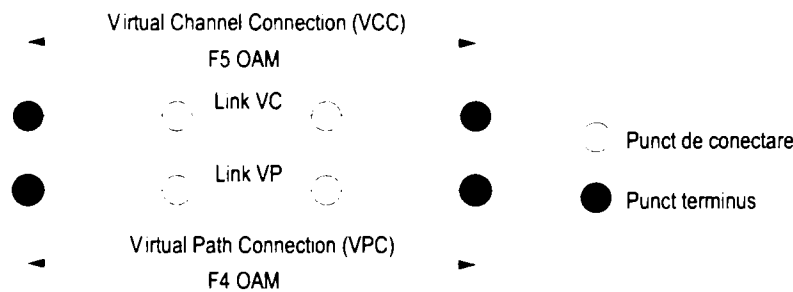
cuprinse în standarde precum și în literatura de specialitate [14][36][114][149][158][188].

Header-ul unei celule ATM conține pe lângă informația de identificare a tipului conexiunii (VPC, VCI) numeroase alte informații utile cum ar fi de exemplu



**Figura 4.15:** Principiul de funcționare al semnalizării OAM “in-slot”

tipul de încărcătură utilă (Payload Type, PT), prin care se poate face distincția între celule ce poartă informația utilă (de tip U în figura 4.15) și celule ce poartă informația “in-slot” de semnalizare (de tip O în figura 4.15). Aceste celule de tip O se reunesc atât în planul VP cât și în planul VC formând fluxuri OAM (figura 4.16).



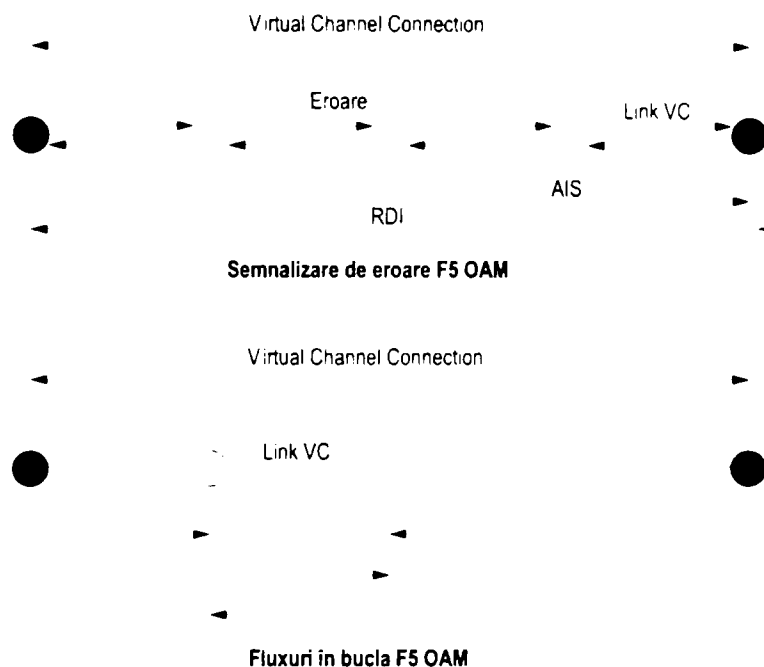
**Figura 4.16:** Stratul ATM și fluxurile OAM în planurile VP și VC

Fluxul OAM din planul VP este fluxul F5, în mod analog cel din planul VC este denumit F4. Aceste fluxuri pot fi stabilite numai pe anumite porțiuni, sau de la un capăt la altul al conexiunii (End-to-End). Un flux stabilit pe întreaga lungime a conexiunii poate fi citit numai la capetele planului corespunzător (Endpoint), pe când cel stabilit pe segmente numai între două puncte de conexiune (Connecting Point). Ca urmare, celulele OAM ale unui flux F5 End-to-End sunt recepționate întotdeauna la punctul terminus al conexiunii VC [149][188].

Aplicațiile de bază ale semnalizării OAM sunt managementul de eroare și testarea conexiunii privitor la conectivitate respectiv întârziere (vezi figura 4.17). De



îndată ce se detectează o eroare, ea poate fi comunicată punctelor terminus ale conexiunii prin intermediul semnalizării OAM (Alarm Indication Signal AIS, Remote Defect Indication RDI). În același mod se pot seta bucle de măsură pe anumite segmente, bucle ce pot furniza informații referitoare la caracteristicile de propagare ale segmentului în cauză (Loopback Test).



**Figura 4.17:** Fluxuri OAM de localizare a erorii și buclă de test

Funcțiile OAM se încadrează în mai multe categorii. Informația despre categoria căreia îi aparține o anumite funcție este codată pe 4 biți în header-ul unei celule ATM (OAM Type). Până în momentul de față s-au definit trei categorii de informații:

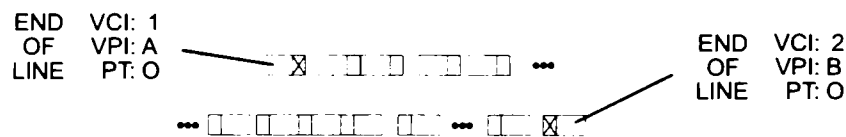
- management de eroare;
- management de performanță;
- activare / dezactivare.

În cadrul fiecărei categorii se poate defini un set de funcții sau semnale care, la rândul lor, sunt codate pe 4 biți în header-ul celulei ATM corespunzătoare (Function Type). Aceste definiții permit o dezvoltare ulterioară flexibilă a unor funcții OAM viitoare. Flexibilitatea mărită impune o implementare prin program care trebuie

să satisfacă cerințe minime de performanță. Intervalul de timp maxim pe parcursul căruia elementul de rețea trebuie să reacționeze la recepționarea unui semnal OAM este de 1 secundă [149].

### 4.3.2 Transfer fără pierderi cu “VC-Flushing”

După cum s-a văzut în cadrul analizei situației la comutare din paragraful 4.2.2, pierderile de celule aflate în tranzit, datorate nesincronizării, conduc la o creștere substanțială a densității medii de pierdere a unor celule. În literatura de specialitate s-au definit metode și procedee de transfer fără pierderi care compensează această influență negativă asupra calității serviciilor oferite [148][159] [160]. Aceste procedee se bazează pe o semnalizare “in-slot”, conform principiului OAM al transmisiei ATM. Ultima celula din informația transmisă, marcată corespunzător, semnalizează atât în uplink cât și în downlink sfârșitul transmisiei pe segmentul mobil (figura 4.18). Punctul de comutare COS și terminalul mobil MT comută segmentul mobil numai după recepționarea celulei marcate.

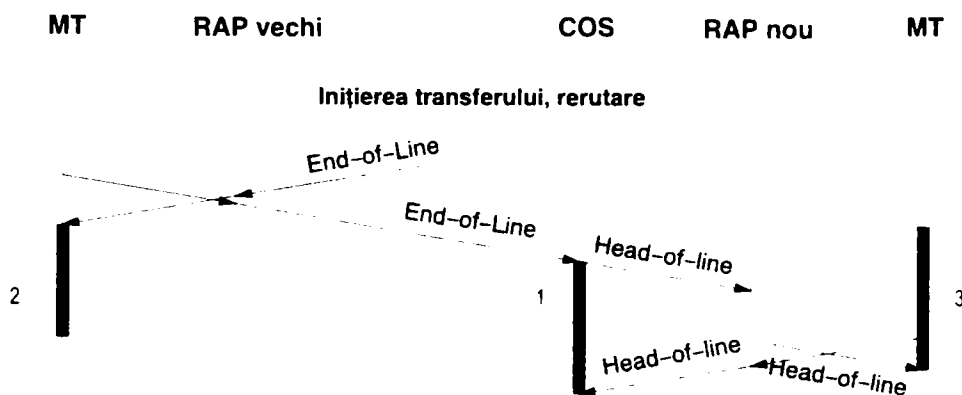


**Figura 4.18:** Semnalizare OAM pentru “VC-Flushing”

Prin aceasta este asigurată recepția integrală a datelor utile iar comutarea se poate face fără pericolul pierderii, duplicării sau inversării ordinii celulelor. Deoarece în acest caz conexiunea virtuală (VC), ca atare, îndeplinește un rol de memorie intermediară tampon ce trebuie golită înainte de comutare, metoda a fost denumită “VC-Flushing” [134].

Această metodă este ilustrată în detaliu prin figura 4.19. Terminalul mobil inițiază un transfer înapoi (backward handover) și caută să mențină conexiunea veche pentru un timp cât mai lung posibil. Terminalul mobil recepționează, la încheierea rerutării, permisiunea de a efectua transferul, transmite în uplink o celulă OAM marcată (End-of-Line) și activează o memorie de stocare a celulelor ATM.

Punctul de comutare COS a transmis și el la rândul lui, după o scurtă întârziere datorată prelucrării informației, o celulă marcată ca fiind ultima, în downlink, pe segmentul vechi. Acesta este semnalul așteptat de terminalul mobil pentru a putea termina conexiunea radio veche. COS-ul comută și el, după recepționarea semnalului End-of-Line în uplink, pe noul segment mobil.



**Figura 4.19:** Transfer fără pierderi cu “VC-Flushing”

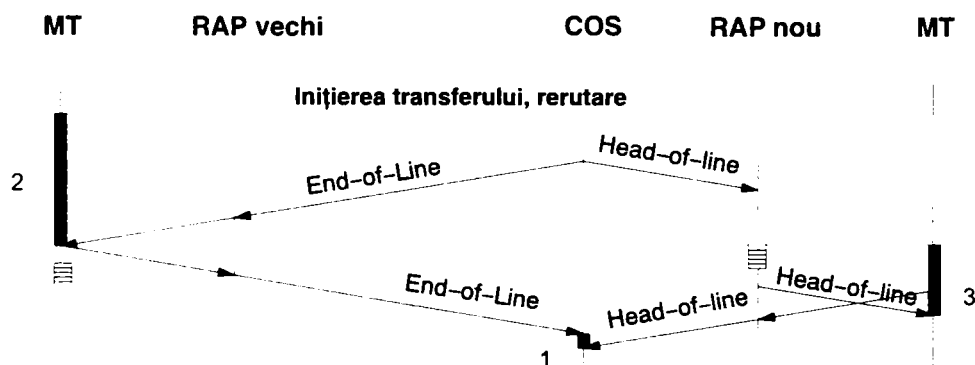
Concomitent cu activarea noului segment, COS-ul începe să transmită mai departe celule în downlink. Aceste celule conținând date utile provin de pe segmentul fix și au fost până în acest moment stocate intermediar. În mod facultativ se poate introduce și o celulă de început, marcată (Head-of-Line), pentru a semnaliza începutul transmisiei de date utile. Terminalul mobil reia transmisia în uplink de îndată ce s-a stabilit noua conexiune radio și recepționează în downlink eventualele celule stocate intermediar în RAP-ul nou.

După cum poate observa, atât în uplink cât și în downlink iau naștere întârzieri, datorate timpilor de propagare diferiți și timpului mort de handover. După recepționarea permisiunii de efectuare a transferului, momentul în care terminalul mobil transmite celula marcată End-of-Line, poate fi liber ales. În practică, s-a dovedit recomandabilă efectuarea acestei transmisii după ce s-a recepționat celula marcată corespunzător în downlink [148][159]. Prin aceasta se reduce timpul de întrerupere în uplink (1) la suma dintre timpul mort de handover (2) și diferența timpilor de propagare.

În downlink, timpul minim de întrerupere al fluxului de date utile (3) este dat de timpul mort de handover. Acest timp se poate prelungi suplimentar, cu valoarea diferenței timpilor de propagare, dacă timpul de propagare pe calea nouă este mai mare decât suma dintre timpul de propagare al căii vechi și timpul mort de handover. În cazul contrar, în care timpul de propagare pe calea nouă este mai scurt, celulele vor fi direcționate spre buffer-ul din RAP-ul nou.

Pentru a goli buffer-ul terminalului mobil respectiv pe cel al noii stații de bază trebuie mărită, către sfârșitul transferului, viteza de transmisie a datelor. Prin aceasta se modifică, implicit, și caracteristica fluxului de celule. Acest efect negativ se poate corecta prin utilizarea unor funcții speciale de modelare a traficului, menținându-se nivelul de calitate negociat al conexiunii. Funcțiile pot fi implementate atât în COS cât și în MAS sau chiar în RAP.

Ambele procedee de transfer fără pierderi [148][159] descriu o variantă optimizată a lui “VC-Flushing”, în care se comută separat pentru uplink, respectiv downlink, presupunând faptul că arhitectura nodului ATM permite comutarea autonomă a celor două direcții ale unui circuit virtual VC. COS-ul poate comuta segmentul downlink de îndată ce a transmis semnalul său End-of-Line (vezi figura 4.20).



**Figura 4.20:** Optimizarea procedurii “VC-Flushing” prin comutare separată

Avantajul procedurii constă în minimizarea întreruperii transmisiei de date utile în uplink (1) și respectiv downlink (3), dezavantajul fiind o întârziere mai mare cauzată de “VC-Flushing” (2).

În figura 4.21 se prezintă în detaliu timingul procedurii. COS-ul trimite la momentul  $t_0$  permisiunea de executare a transferului, declanșând procesul de comutare. La terminarea acestuia, COS-ul transmite pe downlink-ul vechi semnalul de "VC-Flushing". Deîndată ce acest semnal este recepționat de către terminalul mobil, acesta transmite, după un scurt timp de întârziere datorat transferului, la rândul lui semnalul său corespunzător de "VC-Flushing" și declanșează transferul fizic, care este terminat la momentul  $t_2$ :

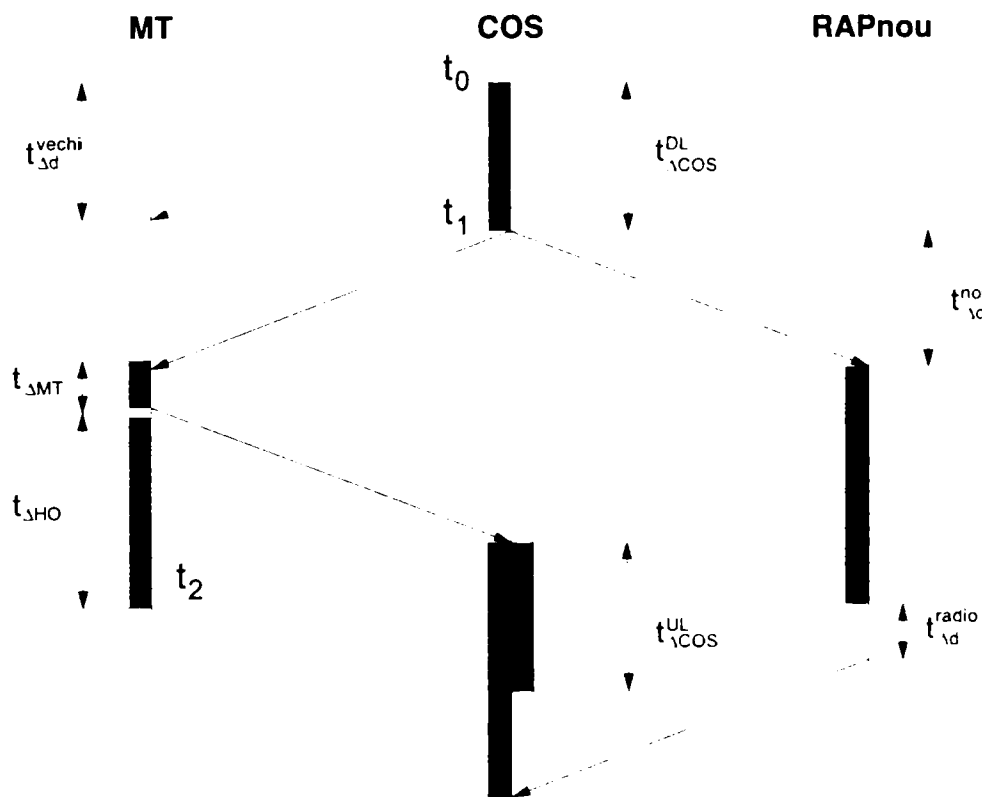


Figura 4.21: Timingul în cazul procedurii "VC-Flushing"

$$t_2 = t_0 + t_{\Delta COS}^{DL} + t_{\Delta d}^{vechi} + t_{\Delta MT} + t_{\Delta HO} \tag{32}$$

Datorită „golirii” circuitului virtual VC („VC-Flushing”), în uplink ia naștere o întrerupere

$$T_{U,UL}^{FL} = t_{\Delta HO} - t_{\Delta d}^{vechi} + t_{\Delta d}^{radio} + t_{\Delta d}^{nou} \tag{33}$$

Întreruperea în downlink este egală cu timpul mort al transferului.

### 4.3.3 Limitări ale procedurii cu „VC-Flushing”

Metoda „VC-flushing” poate fi combinată cu oricare din procedeele de rerutare, fără restricții în ceea ce privește adaptabilitatea, deoarece handshake-ul necesar pentru „flushing” este executat numai după ce atât COS-ul cât și segmentul nou au fost deja comutate. Cu toate acestea, durata totală a transferului se prelungeste cu timpul necesar procesului de „flushing”, de golire a canalului virtual.

Dezavantajul esențial al tuturor procedurilor bazate pe metoda „VC-Flushing” este faptul că au fost concepute în principal sau în exclusivitate pentru transferul înapoi (backward handover). Celulele OAM marcate (End-of-Line) pot fi transmise cel mai devreme la începutul tranzacției de handover, ceea ce conduce la un grad relativ mare de umplere a bufferului din terminalul mobil. Mult mai favorabil este cazul în care semnalele OAM sunt trimise numai după ce procesul de rerutare a fost dus la bun sfârșit, pentru a profita de un timp de întrerupere minim și de un nivel scăzut al informației în buffer, caz în care însă transferul trebuie recunoscut, pregătit și declanșat din timp, lucru posibil numai la transferul înapoi.

La transferul înainte nu există posibilitatea recunoașterii la timp a situației de transfer sau a inițierii din timp a acestuia. Legătura radio se întrerupe în mod abrupt iar celulele aflate în tranzit sunt definitiv pierdute. Latența de transfer a rerutării contribuie și ea la apariția de pierderi. Pentru a reduce numărul de erori la transferul înainte se pot aplica următoarele scenarii:

- utilizarea unui procedeu proactiv de rerutare, în combinație cu o rezervare completă a resurselor și un multicasting al celulelor conținând informația utilă către candidații de handover, conduce la un transfer cu pierderi reduse. Diferența dintre timpii de propagare cauzează pierderi sau duplicări de celule în downlink. În uplink se constată apariția de inversări în ordinea corectă de transmitere a celulelor (vezi și transferul „Ping-Pong” din paragraful 4.1). Numărul de erori este cu toate acestea, mult mai mic decât la transferul înainte cu rerutare reactivă, neexistând componenta datorată rerutării din latența de transfer.
- utilizând un procedeu de rerutare cu ancoră permanentă, se cunoaște deja punctul de comutare COS în momentul declanșării transferului. În acest caz stația de bază RAP veche ar putea transmite COS-ului un semnal de

informare asupra legăturii radio întrerupte, pentru a limita pierderile de celule în downlink. Cu toate acestea, numărul de celule ATM pierdute în downlink este cel puțin egal cu dublul produsului lățime de bandă-întârziere.

- stația de bază RAP veche este implicată în procedeul de „VC-Flushing” [159]. Celulele conținând informație utilă și având direcția downlink sunt stocate intermediar și transmise noii stații de bază, la terminarea rerutării. RAP-ul vechi trimite în uplink, la întreruperea legăturii radio, o celulă End-of-Line, semnalizând COS-ului necesitatea comutării.

După cum se poate vedea, un singur procedeu din cele enumerate conduce la efectuarea unui transfer fără pierderi [159]. Celelalte două nu sunt încununete de succes deoarece informația privitoare la ordinea corectă de transmisie nu este înglobată în celula ATM. O idee ar fi deci de a completa informația cu un număr curent al celulei ATM. Aceasta implică însă o modificare a formatului celulei ATM pentru aplicațiile mobile, soluție greu de realizat deoarece ar fi necesară o interfață de adaptare la fiecare tranziție spre și dinspre rețeaua fixă și deasemenea ar împiedica utilizarea tehnicii de comutație ATM deja existente pe piață [241]. În concluzie, pentru transferul înainte cu „VC-Flushing” rămâne numai opțiunea de a iniția imediat după terminarea rerutării o transmisie mai departe de la stația de bază veche spre cea nouă a celulelor aflate în tranzit. Timpul total necesar transferului se mărește în acest caz cu o componentă suplimentară. Soft-ul stațiilor de bază trebuie să fie în măsură de a intercepta și analiza semnalele OAM ale protocolului de transfer, de a stoca într-un buffer celulele conținând informația utilă și de a menține conexiuni VC active spre stațiile de bază învecinate cărora trebuie să le transmită ulterior celulele memorate intermediar. Alegerea precisă a rutelor către RAP-urile din vecinătate influențează în mare măsură durata efectivă a acestei transmisii a conținutului buffer-ului. Procedeul descris în [159] se referă la un sistem local cu un singur nod de comutare ATM cu suport al mobilității. În rețele de dimensiuni reduse se pot seta relativ ușor căi directe permanente între stații de bază învecinate, setare ce necesită un efort administrativ deosebit în cazul rețelelor mari posedând sute de stații de bază în interiorul unui domeniu de ancoră. Soluția prezentată nu se pretează deci, din cauza dificultăților de implementare a managementului de rețea, la o utilizare pe scară largă, autorii prevăzând ca domeniu principal de utilizare serviciile de tip „Available Bit Rate (ABR)”.

Un alt dezavantaj al metodei descrise este faptul că se prelungeste timpul total necesar efectuării transferului, ceea ce poate conduce, în condiții dificile de propagare, la necesitatea terminării transferului înainte de a se fi terminat golirea circuitului virtual („VC-Flushing”). Comportamentul sistemului este însă chiar și în aceste condiții, deosebit de robust. Semnalul de întrerupere a conexiunii radio vechi de la MT este recepționat de RAP-ul vechi, care întrerupe la rândul său transmisia în downlink și stochează intermediar celulele, pentru a le retransmite ulterior spre RAP-ul nou. MT trimite un semnal End-of-Line în uplink, după ce ultima celulă conținând informație utilă a fost recepționată, oferind COS-ului posibilitatea de a comuta fără pierderi de celule.

#### **4.4 Procedeu nou de transfer fără pierderi**

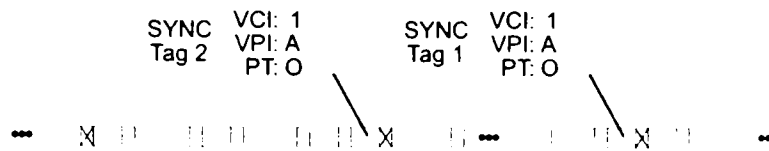
În cele ce urmează va fi prezentat un procedeu nou de transfer fără pierderi ce se poate aplica transferurilor hard atât de tip înainte cât și înapoi. În plus el se pretează a fi utilizat pentru sincronizarea căii vechi și noi pe interfața radio și prin aceasta la realizarea de transferuri soft [162][164]. Utilizând un procedeu de rerutare dualcast sau multicast se pot realiza chiar și transferuri în timp real cu pierderi minime.

##### **4.4.1 Principiul de bază al transferului de tip „Sync-Tag-Handover (STH)”**

Spre deosebire de metoda cu „VC-Flushing”, în care transferul este încheiat printr-un handshake realizat cu ajutorul semnalizării „in-slot”, procedeu următor se bazează pe informații de sincronizare multiplexate periodic în fluxul de date utile [162][164][263]. Aceste semnale OAM sunt marcate corespunzător în cadrul porțiunii conținând date utile a fiecărei celule permițând numerotarea curentă a segmentelor de flux de celule din care se compune conexiunea.

Principiul de funcționare este prezentat în figura 4.22.

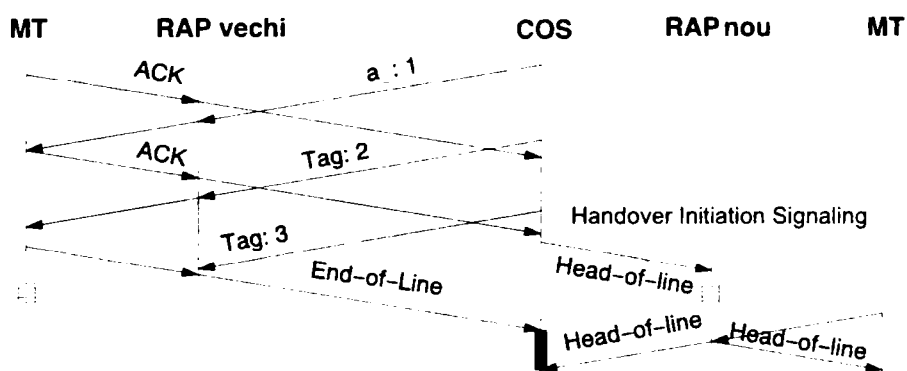




**Figura 4.22:** Etichete periodice de sincronizare în fluxul F5 de celule OAM

Fluxul de celule conținând informația utilă este divizat în mai multe segmente utilizând celulele de semnalizare „in-slot” ale fluxului F5. Semnalele OAM conțin informația privind ordinea de transmitere, așa numitele „etichete” sau „tags” pentru a folosi termenul consacrat din limba engleză. Aceste tag-uri pot fi identificate în mod unic constituind astfel puncte de sincronizare în fluxul de celule conținând informația utilă. Poziția lor în interiorul fluxului rămâne neschimbată, până la citirea informației, asigurând astfel transmiterea în ordinea corectă a celulelor.

În cele ce urmează se va defini cu ajutorul acestor tag-uri un procedeu de transfer ce asigură o predare-preluare controlată a datelor utile de la o stație de bază la alta precum și o resincronizare a fluxurilor de celule la stația de bază nouă, prin urmare un transfer fără pierderi. Procedeu îl denumim prescurtat „Sync-Tag-Handover (STH)”. El se bazează în principiu pe un procedeu de rerutare cu ancoră, dar se vor analiza în cele ce urmează și posibilitățile oferite de celelalte metode de rerutare.



**Figura 4.23:** Principiul de funcționare al transferului „Sync-Tag-Handover (STH)”

În cazul transferului STH, ancora unei conexiuni introduce în mod periodic tag-uri de sincronizare în fluxul downlink de date utile. Aceste etichete conțin

numărul curent al segmentului de flux transmis. Semnalele de sincronizare sunt descifrate în terminalul mobil și reintroduse, ca și semnale de confirmare, în fluxul uplink. Ele servesc COS-ului ca și confirmare a recepționării complete de către MT a segmentului anterior. Segmentele a căror recepție nu a fost încă confirmată sunt memorate în copie într-un buffer al COS-ului și înlăturate numai după confirmare.

În cazul executării unui transfer, COS-ul este în măsură de a retransmite, imediat după ce a fost stabilit segmentul mobil, celule din buffer spre stația de bază nouă. Ele conțin desigur și tag-urile de sincronizare originale, care au fost deja transmise. COS-ul transmite concomitent terminalului mobil permisiunea de efectuare a transferului și, înainte de a comuta pe noua cale downlink, ultima celulă pe vechiul downlink. MT-ul termină transmisia pe vechiul uplink printr-un semnal End-of-Line. După scurgerea timpului mort de transfer, MT este pregătit a comunica prin noul canal radio și începe transmisia în uplink cu ultimul tag de sincronizare recepționat. Acest semnal „in-slot” conține informația de offset din fluxul de celule, cu alte cuvinte informația privitoare la numărul de celule care au mai fost recepționate în downlink pe conexiunea veche, fără a mai fi avut posibilitatea de confirmare a recepției. Stația de bază poate de acum sincroniza downlink-ul și relua transmisia exact din locul de unde a fost întreruptă prin terminarea de către MT a comunicației pe canalul radio vechi.

Acest procedeu de transfer a fost conceput pentru a suporta ambele tipuri de handover: forward și backward. Inserția periodică a informației de sincronizare permite MT-ului să termine practic în orice moment, fără nici un fel de întârziere, transmisia pe canalul radio vechi și să inițieze transferul către stația de bază nouă. În cele ce urmează vor fi analizate ambele variante de transfer precum și managementul buffer-ului destinat memorării intermediare a datelor.

#### **4.4.2 Gestiunea tag-urilor și a buffer-ului**

Elementul central al procedurii STH îl constituie un buffer în COS în care sunt păstrate copiile tuturor celulelor transmise în downlink, inclusiv tag-urile de sincronizare. În acest caz nu avem de-a face cu o stocare intermediară pentru a evita pierderile datorate blocajului de trafic ci pur și simplu cu o „copiere” a celulelor la transmitere.

De îndată ce s-a activat funcția de semnalizare „in slot” pentru o conexiune dată, se introduce un prim tag în fluxul de celule și se face o primă copie care se stochează în buffer. Acesta se încarcă până la momentul  $2 \cdot t_{\Delta d}^{vechi} + \delta_T$ , moment în care se recepționează de la MT al doilea tag transmis, care confirmă recepția primului segment al fluxului de celule. Acest segment împreună cu tag-ul corespunzător sunt șterse din buffer, ele fiind recepționate complet de MT.

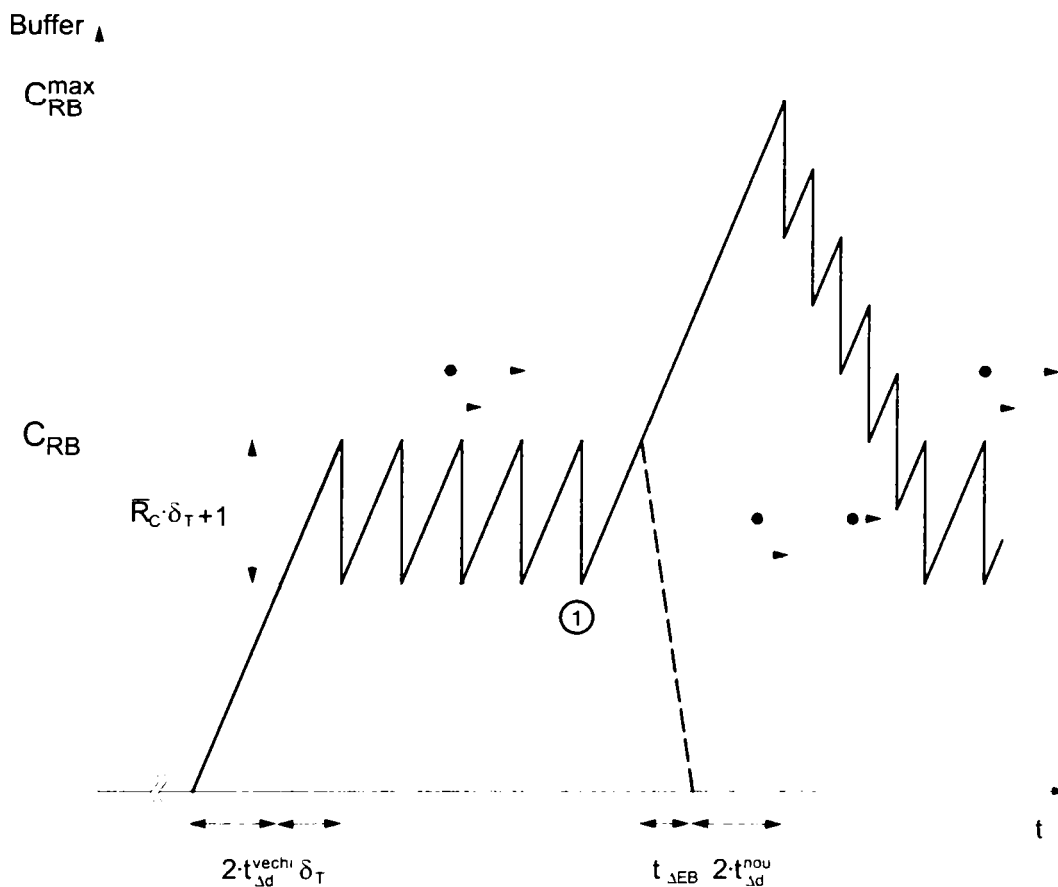


Figura 4.24: Gestiunea buffer-ului pentru STH

Insertia de tag-uri în fluxul de date utile se face la intervale periodice de timp, distanța temporală dintre două tag-uri consecutive fiind  $\delta_T$ . În buffer se efectuează simultan două operații deoarece pe lângă memorarea segmentului nou se execută și ștergerea celui mai vechi, confirmat. De aceea se poate spune că în buffer se află la orice moment dat în timp cel puțin dublul produsului lățime de bandă-întârziere al downlink-ului la care se adaugă numărul de tag-uri generate în acest interval de

timp. Coeficientul maxim de umplere al bufferului în stare normală de funcționare se poate deci calcula ca fiind

$$C_{RB} = \overline{R_C}(2 \cdot t_{\Delta d}^{vechi} + \delta_T) + \frac{2 \cdot t_{\Delta d}^{vechi}}{\delta_T} \quad (34)$$

Acesta reprezintă în același timp numărul maxim de celule conținând informație utilă care trebuie retransmise, în cazul unui transfer, spre stația de bază nouă. Intervalul optim dintre două tag-uri se calculează din ecuația

$$\frac{\partial C_{RB}}{\partial \delta_T} = \overline{R_C} - \frac{2 \cdot t_{\Delta d}^{vechi}}{(\delta_T)^2} = 0 \quad (35)$$

care are ca rezultat

$$\delta_T^{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot t_{\Delta d}^{vechi}}{\overline{R_C}}} \quad (36)$$

În timpul retransmisiei celulelor aflate în buffer-ul de copii (Buffer Retransmission BR) se stochează intermediar celulele ce sosesc de pe segmentul fix al conexiunii pentru a fi transmise ulterior, incluse în segmente înregistrate cu număr curent, pe noul segment mobil al conexiunii. Buffer-ul poate fi golit numai dacă este îndeplinită condiția  $R_{EB} > \overline{R_C}$ . Timpul necesar golirii buffer-ului rezultă din relația

$$t_{\Delta EB} = \frac{C_{RB}}{R_{EB}} \quad (37)$$

Pe parcursul retransmisiei buffer-ul se umple cu celulele venite de pe segmentul mobil și stocate intermediar cu rata  $\overline{R_C}$  până în momentul în care se recepționează din nou tag-uri în uplink. În figura 4.24 este reprezentat un caz defavorabil în care terminalul mobil efectuează un handover la scurt timp după ce s-a recepționat ultimul tag de sincronizare în uplink (1), efectul fiind faptul că toate celulele retransmise din buffer-ul de copii nu au ajuns încă la terminalul mobil. Ele sunt retransmise de către RAP-ul nou spre MT cu o rată mărită de transmisie  $R_{EB} > \overline{R_C}$ , fiind confirmate pe segmente odată ajunse la destinație. Din această cauză, durata unui segment de celule se abate de la durata fixată prin tag-urile de sincronizare. Buffer-ul de stocare intermediară se golește în mod treptat iar sistemul

atinge parametrii normali de funcționare. Nivelul maxim de umplere a buffer-ului în această situație extremă se deduce din relația

$$C_{RB}^{max} = C_{RB} \left(1 + \frac{\overline{R_C}}{R_{EB}}\right) + 2 \cdot \overline{R_C} \cdot t_{\Delta t}^{neu} + \frac{2 \cdot t_{\Delta t}^{neu}}{\delta_T} \quad (38)$$

Exemplul din figura 4.24 se bazează pe situația cea mai defavorabilă în care nici unul din segmentele neconfirmate nu a fost recepționat de terminalul mobil. Această situație poate apare în cazul unui transfer înainte. Situația favorabilă este cea în care terminalul mobil a recepționat o bună parte din ele și poate comanda RAP-ului nou ștergerea acestora din buffer-ului de copii. La transferul înapoi, probabilitatea de apariție a acestei situații este destul de mare, deoarece terminalul mobil poate păstra conexiunea radio veche până în momentul recepționării permisiunii de transfer și deci până în momentul recepției ultimei celule transmise în downlink.

#### 4.4.3 Transfer înapoi utilizând procedeul STH

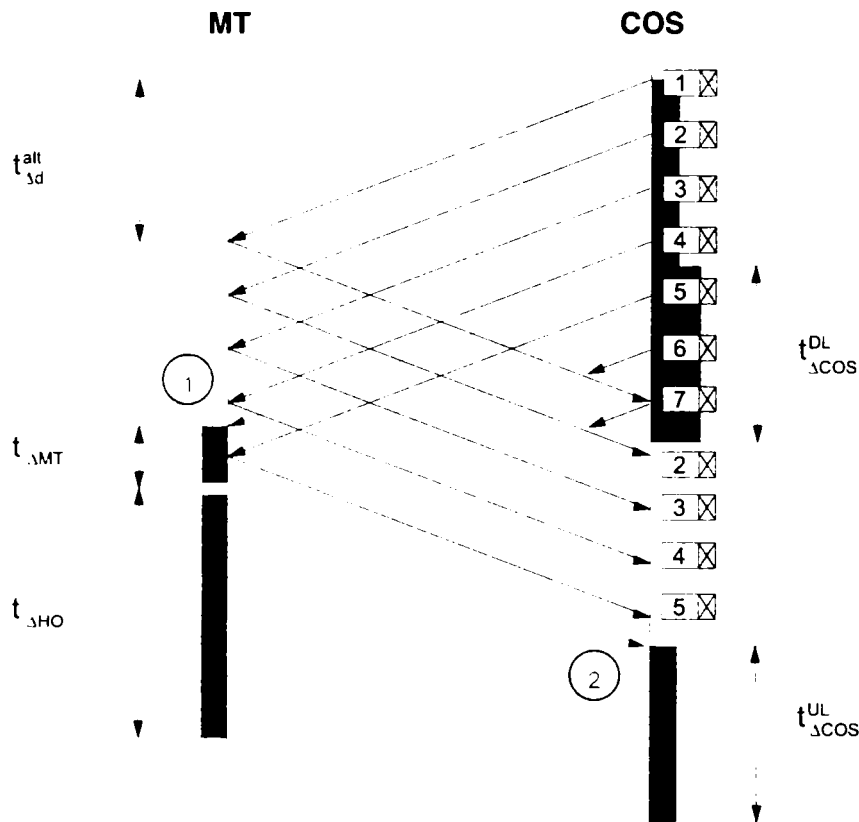
Se presupune pentru început că transferul înapoi (backward handover) este efectuat în combinație cu o ancoră pentru rerutare. Punctul de comutare COS este în acest caz cunoscut în momentul setării conexiunii, fiind inserate periodic taguri de sincronizare în fluxul de date utile (vezi figura 4.25).

Având de-a face cu un transfer înapoi, terminalul mobil este în măsură de a păstra conexiunea veche un timp cât mai lung posibil. Transferul fizic se efectuează, dacă condițiile de câmp electromagnetic o permit, numai în momentul acordării permisiunii de transfer (1) și după scurgerea timpului de întârziere inerent din MT. O scădere bruscă a nivelului semnalului recepționat conduce direct la efectuarea transferului fizic, fără a mai aștepta permisiunea. Cu toate acestea, transferul poate fi încununat de succes, după cum s-a demonstrat în paragraful 4.2.1. Terminalul mobil își anulează înregistrarea la stația de bază veche și transmite în uplink un semnal End-of-Line (2) pentru a permite COS-ului comutarea uplink-ului.

În uplink se aplică metoda cu „VC-Flushing”. Terminalul mobil transmite ca ultimă celulă un semnal End-of-Line. COS-ul așteaptă acest semnal pentru a comuta uplink-ul. Fluxul de date utile este întrerupt pentru o scurtă perioadă de timp, întrerupere inerentă sistemului, datorată diferenței dintre timpii de propagare și a

timpului mort de handover și care nu poate fi minimizată sau înlăturată. Ea se poate calcula cu relația de mai jos în care  $t_{\Delta d}^{radio}$  este întârzierea datorată interfeței radio

$$T_{U,UL}^{BW} = t_{\Delta HO} - t_{\Delta d}^{vechi} + t_{\Delta d}^{radio} + t_{\Delta d}^{nou} \quad (39)$$



**Figura 4.25:** Transfer înapoi cu retransmisie – vechiul segment mobil

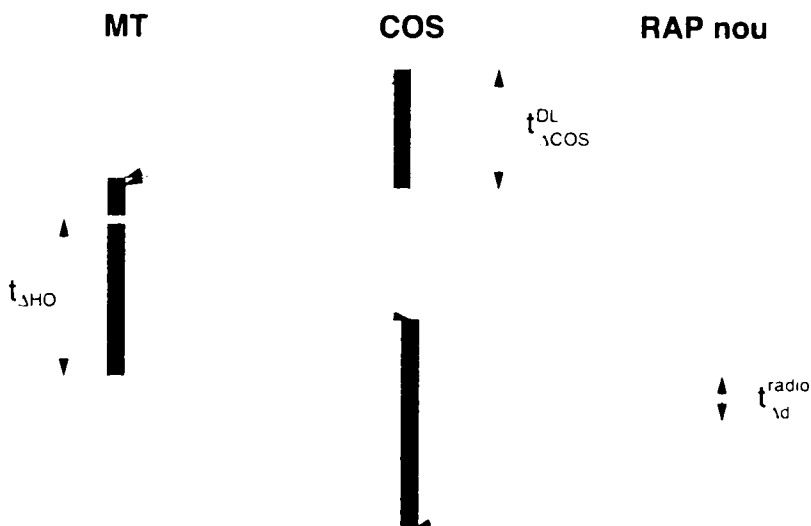
Există chiar o situație în care pot lua naștere erori datorate schimbării ordinii corecte de transmisie și anume, atunci când căile noi sunt setate prea timpuriu, iar timpul de handover este deosebit de mic

$$t_{\Delta d}^{vechi} \geq t_{\Delta HO} + t_{\Delta d}^{radio} + t_{\Delta d}^{nou} \quad (40)$$

În acest caz este necesară o stocare intermediară în COS a celulelor noului uplink până la recepționarea semnalului End-of-Line de la uplink-ul vechi. Handover-ul în uplink se poate desfășura în acest caz fără întreruperi.

Downlink-ul a fost comutat odată cu emiterea permisiunii de efectuare a transferului. La scurgerea timpului inerent de întârziere la comutare  $t_{\Delta COS}^{DL}$ , COS-ul

începe să golească buffer-ul de copii. În exemplul din figura 4.25, toate celulele începând de la tag-ul de confirmare numărul 1 sunt neconfirmate. Tag-ul cu numărul 2 este recepționat numai după comutarea downlink-ului și de aceea nu mai poate fi analizat. Ca urmare, trebuie retransmise toate celulele începând cu tag-ul 1.



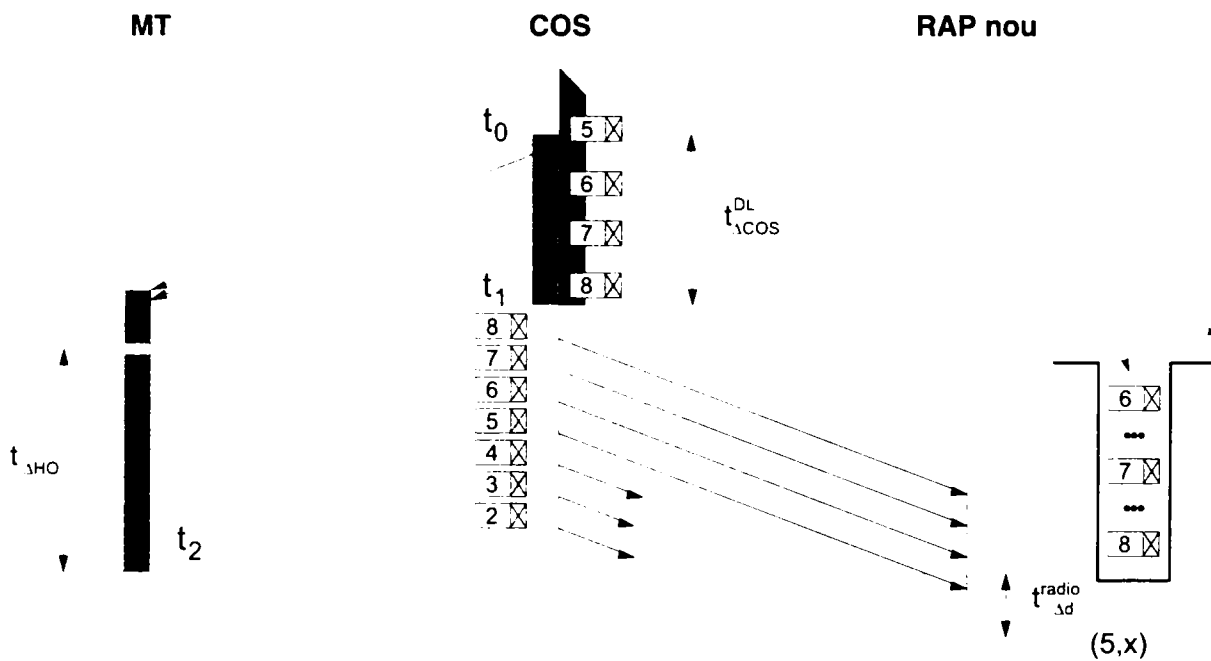
**Figura 4.26:** Transfer înapoi cu retransmisie – uplink

Soluția cea mai simplă ar fi să se retransmită celulele din buffer în ordinea memorării lor (FIFO). Aceasta ar conduce însă la retransmiterea inutilă a unor celule și deci la întârzieri suplimentare. Considerând situația din figura 4.25, în care timpii de propagare sunt aproximativ egali, se constată că terminalul mobil a recepționat deja, în momentul primirii permisiunii de efectuare a transferului, o mulțime de celule pentru care nu există o confirmare a recepției la nivel de COS. Aceste celule ar fi în mod inutil retransmise întârziind în același timp transmiterea celulelor care în realitate nu au fost recepționate.

O soluție mai bună este cea care se bazează pe faptul că, la momentul comutării, avem practic de-a face cu două tipuri de celule neconfirmate: cele recepționate pe conexiunea veche și memorate deja, în bloc, și celulele noi ce sosesc de pe segmentul fix și ce necesită a fi stocate intermediar. În această ipoteză, se propune utilizarea unui buffer de tip Last-in-first-out (LIFO), pentru a retransmite celulele în ordinea inversă memorării lor, către noua stație de bază. În cazul transferului înapoi, aceste celule, memorate mai recent, au probabilitatea cea

mai mare de a nu fi fost recepționate de către MT. Stația de bază nouă stochează și ea aceste celule într-o memorie, dar citirea din ea se face la terminarea transferului fizic în ordinea memorării. Pentru aceasta este necesar ca MT să transmită, în cadrul procedurii de înregistrare la RAP-ul nou, ultimul tag recepționat corect și un offset care indică numărul de celule ATM ce i-au mai urmat acestui tag.

Prin folosirea unui buffer LIFO se poate reduce considerabil timpul de sincronizare al stației de bază noi (figura 4.27).



**Figura 4.27:** Transfer înapoi cu retransmisie – downlink

În exemplul de mai sus, înainte de a declanșa transferul fizic, terminalul mobil posedă tag-ul cu numărul 5 și a recepționat ulterior un număr  $x$  de celule. În cadrul procedurii de înregistrare el comunică aceste date RAP-ului nou. La expirarea timpului mort de handover sunt deja stocate în memoria RAP-ului, segmentele fluxului de celule, cu tag-urile având numerele 6,7 și 8. Singurul lucru care mai este necesar pentru a continua transmiterea datelor pornind de la punctul de unde a fost întreruptă prin declanșarea transferului, este recepționarea tag-ului cu numărul 5. Offset-ul  $x$  introdus împiedică în același timp și duplicarea celulelor. Pe lângă aceasta, prin comutarea separată a uplink-ului respectiv downlink-ului, există posibilitatea recepționării în continuare a unor tag-uri de confirmare, pe



uplink-ul vechi, în timp ce pe downlink s-a început deja retransmisia, astfel reducându-se și mai mult capacitatea necesară a buffer-ului.

Transferul poate fi declanșat oricând în intervalul de timp dintre două tag-uri consecutive  $\delta_T$ . În acest moment COS-ul a recepționat deja confirmarea pentru un tag de sincronizare trimis cu  $2 \cdot t_{\Delta d}^{vechi}$  mai înainte. COS-ul trimite la momentul  $t_0$  terminalului mobil permisiunea de efectuare a transferului. Timpul rămas la dispoziție pentru segmentul actual este  $\overline{\delta_T}$ , el influențând valoarea  $x$  a offset-ului, care va fi transmisă de către MT noii stații de bază:

$$x = \begin{cases} (t_{\Delta MT} + \delta_T - \overline{\delta_T}) \cdot \overline{R_C} & \text{dacă } \overline{\delta_T} > t_{\Delta MT} \\ 0 & \text{dacă } \overline{\delta_T} = t_{\Delta MT} \\ (t_{\Delta MT} - \overline{\delta_T}) \cdot \overline{R_C} & \text{dacă } \overline{\delta_T} < t_{\Delta MT} < \overline{\delta_T} + \delta_T \\ (t_{\Delta MT} - \left\lfloor \frac{t_{\Delta MT}}{\delta_T} \right\rfloor \delta_T - \overline{\delta_T}) \cdot \overline{R_C} & \text{dacă } \overline{\delta_T} + \delta_T \leq t_{\Delta MT} \end{cases} \quad (41)$$

În formula de mai sus  $\left\lfloor \frac{t_{\Delta MT}}{\delta_T} \right\rfloor$  reprezintă modulul raportului, egal cu zero dacă  $t_{\Delta MT} < \delta_T$ .

În momentul  $t_1 = t_0 + t_{\Delta COS}^{DL}$ , COS-ul începe să transmită conținutul buffer-ului copiilor spre noul RAP. Partea din buffer care se află deja în noul RAP, în momentul terminării transferului fizic,  $t_2 = t_0 + t_{\Delta d}^{vechi} + t_{\Delta MT} + t_{\Delta HO}$  este determinată de întârzierea la comutare în COS, de timpul de propagare pe noua cale și de rata de transmisie a datelor cu care este citit conținutul buffer-ului:

$$C_{FW} = \max(C_{RB}, (t_{\Delta d}^{vechi} + t_{\Delta MT} + t_{\Delta HO} - t_{\Delta COS}^{DL} - t_{\Delta d}^{nou}) \cdot R_{EB}) \quad (42)$$

Transmisia de date în downlink poate fi continuată în prima instanță fără întrerupere, dacă toate celulele, începând de la ultimul tag recepționat de terminalul mobil, au ajuns în momentul  $t_2$  la stația de bază nouă. Întârzierea totală până în momentul când se transmit din nou celule "normale" în loc de copii este, determinată de conținutul memoriei buffer și de rata de retransmisie  $R_{EB} > \overline{R_C}$ .

Cazul cel mai defavorabil este cel în care, la momentul  $t_1$ , avem un buffer plin, al cărui conținut trebuie retransmis spre noul RAP. Terminalul mobil nu a pierdut în acest caz, datorită întârzierii mari de handover, nici o celulă în downlink, așa încât trebuie retransmis întreg conținutul buffer-ului în momentul reînregistrării și a transmiterii datelor de sincronizare în primul semnal "in-slot" al uplink-ului. Rata minimă de transmisie a datelor pentru respectarea condițiilor temporale date, este exprimată prin relația

$$R'_{EB} = \frac{C_{RB}}{t_{\Delta l}^{vechi} + t_{\Delta MT} + t_{\Delta HO} + t_{\Delta l}^{radio} - t_{\Delta COS}^{DL} - t_{\Delta l}^{nou}} \quad (43)$$

Alegând un interval de tag optim, cu ajutorul relației (36), se obține rata de date minimă de transmisie, necesară în cazul cel mai defavorabil, (cea mai mică valoare a ratei de transmisie care asigură golirea buffer-ului):

$$R_{EB}^{min,max} = \frac{2 \cdot \overline{R_C} \cdot t_{\Delta l}^{vechi} + \sqrt{2 \cdot \overline{R_C} \cdot t_{\Delta l}^{vechi}} + \sqrt{\frac{\overline{R_C}}{2 \cdot t_{\Delta l}^{vechi}}}}{t_{\Delta l}^{vechi} + t_{\Delta MT} + t_{\Delta HO} + t_{\Delta l}^{radio} - t_{\Delta COS}^{DL} - t_{\Delta l}^{nou}} \quad (44)$$

Această valoare reprezintă cazul cel mai defavorabil din două puncte de vedere. În primul rând se mai pot recepționa pe timpul retransmisiei conținutului bufferului confirmări pentru segmente mai vechi, ceea ce conduce implicit la o scurtare a buffer-ului. În al doilea rând, momentul de declanșare a transferului poate avea loc oricând în intervalul de timp dintre două tag-uri, așa încât buffer-ul este rareori complet plin.

Numărul maxim de segmente de flux de celule cu care se poate scurta conținutul buffer-ului pe timpul retransmisiei este

$$n_{SV}^{max} = \left\lfloor \frac{C_{RB}}{\delta_T \cdot \overline{R_C} + 1} \cdot \frac{\overline{R_C}}{\overline{R_C} + R_{EB}} \right\rfloor \quad (45)$$

Numărul de celule ce se află la un moment dat  $t_1$  în buffer se calculează cu ajutorul relației (34) ca fiind

$$C_{RB}^1 = C_{RB} - C_{\Delta} \quad (46)$$

în care valoarea lui  $C_{\Delta}$  depinde de diferența de timp dintre recepționarea ultimului tag de confirmare la COS și  $t_1$

$$C_{\Delta}^{\max} = \overline{R_C} \cdot \delta_T + 1 \quad (47)$$

Astfel se poate defini o valoare minimă pentru rata de transmitere a datelor care este neapărat necesară pentru a putea retransmite conținutul buffer-ului:

$$R_{EB}^{\min. \min} = \frac{2 \cdot \overline{R_C} \cdot t_{\Delta d}^{vechi} + \sqrt{2 \cdot \overline{R_C} \cdot t_{\Delta d}^{vechi}} + \sqrt{\frac{\overline{R_C}}{2 \cdot t_{\Delta d}^{vechi}} - C_{\Delta}^{\max} - n_{SV}^{\max} \cdot \delta_T \cdot \overline{R_C}}}{t_{\Delta d}^{vechi} + t_{\Delta MT} + t_{\Delta HO} + t_{\Delta d}^{radio} - t_{\Delta COS}^{DL} - t_{\Delta d}^{nou}} \quad (48)$$

Condiția esențială ce se impune este ca diferența timpilor de propagare pe cele două căi nouă să nu depășească o anumită valoare limită

$$t_{\Delta d}^{nou} - t_{\Delta d}^{vechi} < t_{\Delta MT} + t_{\Delta HO} + t_{\Delta d}^{radio} - t_{\Delta COS}^{DL} \quad (49)$$

Dacă această condiție este îndeplinită, atunci transferul fizic va fi terminat înainte ca prima celulă retransmisă să ajungă la noua stație de bază.

În cazul în care nu se folosește un buffer de tip LIFO, atunci conținutul său nu poate fi redus, prin recepționarea unor confirmări pe interfața radio nouă. În acest caz  $n_{SV}^{\max} = 0$  și trebuie aleasă o rată de golire corespunzător mai mare.

Comutarea în downlink este fără întreruperi cât timp sunt respectate aceste condiții temporale. Comutare fără întreruperi în downlink înseamnă că procedeul de transfer nu aduce cu sine o prelungire a timpului mort al transferului, timp care modelează întreruperea inerentă, dependentă de tehnologia utilizată.

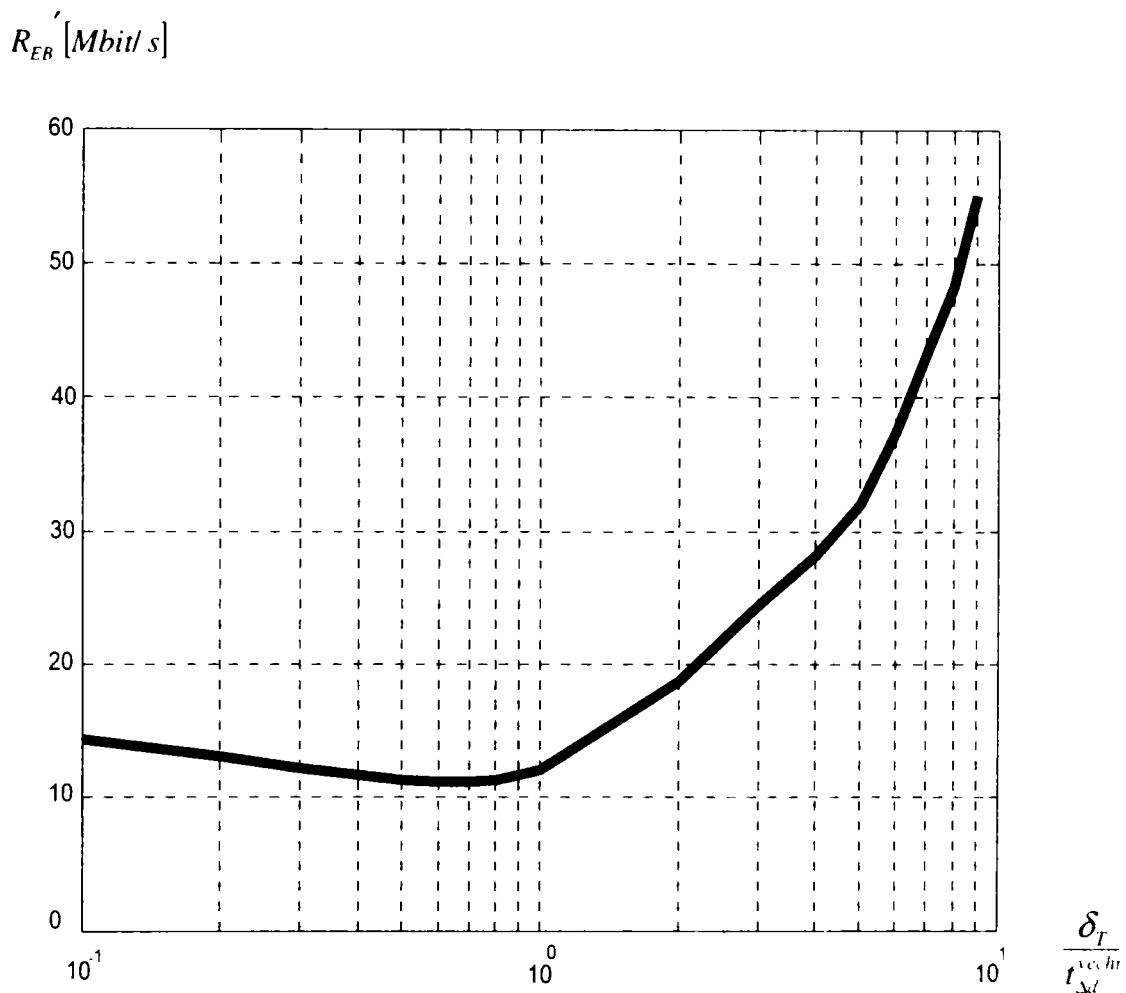
În continuare se prezintă un studiu parametric ce ilustrează dependențele prezentate anterior și ale cărui valori de intrare sunt prezentate în tabelul 4.2. Deasemena se presupune că distanța dintre două tag-uri consecutive este un multiplu al întâzierii pe calea de propagare  $t_{\Delta d}^{vechi}$  astfel încât emiteria unui tag de sincronizare în downlink este concomitentă cu recepția unui tag de confirmare în uplink și că  $\overline{\delta_T} = 0$ , adică, permisiunea de efectuare a transferului este emisă în momentul imediat precedent emiterii sau recepției unui tag.

**Tabelul 4.2:** Parametrii exemplului numeric pentru transferul înapoi STH

Parametru	Valoare tipică	Semnificație
$\bar{R}_c$	3 Mbit/s	Rata medie de transmisie a datelor (umplere buffer)
$R_{EB}$	6 Mbit/s	Rata de transmisie a datelor (golire buffer)
$t_{\Delta COS}^{DL}$	1,0 ms	Întârzierea la comutare în downlink
$t_{\Delta MT}$	0,5 ms	Întârzierea de handover
$t_{\Delta HO}$	1,0 ms	Timpul mort al transferului
$t_{\Delta d}^{radio}$	0,5 ms	Întârzierea de propagare pe interfața radio
$t_{\Delta d}^{vechi}$	2,0 ms	Întârzierea de propagare pe segmentul mobil vechi
$t_{\Delta d}^{nou}$	1,5 ms	Întârzierea de propagare pe segmentul mobil nou

În acest caz, ultimul tag de sincronizare recepționat de MT ajunge la destinație practic concomitent cu permisiunea de efectuare a transferului. Dacă se alege un interval dintre tag-uri  $\delta_T = 0,4 \cdot t_{\Delta d}^{vechi}$ , atunci se obțin următoarele valori: offset-ul celulelor recepționate de MT până la sfârșitul întârzierii de handover este  $x=3$ , iar în COS se transmit încă 7 celule în downlink după recepția ultimului tag de sincronizare. Aceste celule sunt retransmise spre buffer-ul noului RAP, ele fiind stocate după 2 ms (3 ms după emiterea permisiunii de efectuare a transferului), pe când transferul este terminat de abia după 3,5 ms de la permisiune. Capacitatea maximă a buffer-ului la începutul fazei de retransmisie este de 43 de celule ATM. Pe parcursul retransmisiei sunt recepționate două tag-uri de confirmare de pe uplink-ul vechi, astfel putând fi scurtat conținutul bufferului conținând copiile cu două segmente de flux de celule, acest conținut fiind recepționat complet peste alte 4,3 ms de către noul RAP. La terminarea transferului fizic, terminalul mobil comunică în uplink, printr-un semnal "slot-in", ultimul număr curent de tag recepționat și numărul de celule recepționat ulterior. Fără întârziere se pot extrage din buffer-ul RAP-ului și transmite spre MT cele trei celule lipsă. Celulele rămase nu

mai sunt necesare, fiind șterse, iar celulele noi, stocate în celălalt buffer, vor fi conectate la fluxul de retransmisie.



**Figura 4.28:** Rata de date maximă pentru retransmisia conținutului buffer-ului, în funcție de intervalul de tag

Intervalul de tag optim este în acest exemplu de circa 0,35 ori întârzierea pe calea de propagare (vezi figura 4.28). Rata de transmisie a datelor necesară pentru retransmisia unui buffer complet este de circa 12 Mbit/s. Prin scurtarea conținutului buffer-ului se poate respecta condiția de timp real pentru o comutare fără întrerupere cu o rată de transmisie a datelor de numai 6 Mbit/s.

#### 4.4.4. Transfer înapoi forțat utilizând procedeul STH

După cum s-a demonstrat în paragraful anterior, procedeul STH poate fi utilizat în cazul transferului înapoi cu rezultate foarte bune. Respectându-se anumite

condiții temporale se poate executa în downlink nu numai un transfer fără pierderi ci chiar și fără întrerupere. Efortul depus pentru gestionarea buffer-ului este însă relativ mare în comparație cu perioada relativ scurtă de vulnerabilitate. O situație mai interesantă este cea de așa numită “urgență”, adică atunci când, pe durata procesului de rerutare, nivelul de semnal recepționat scade foarte mult, conexiunea radio veche nu poate fi menținută iar declanșarea transferului este “forțată”. Înainte de a termina conexiunea radio veche, terminalul mobil inserează un mesaj End-of-Line de “VC-Flushing” în fluxul de celule uplink și comută fizic conexiunea.

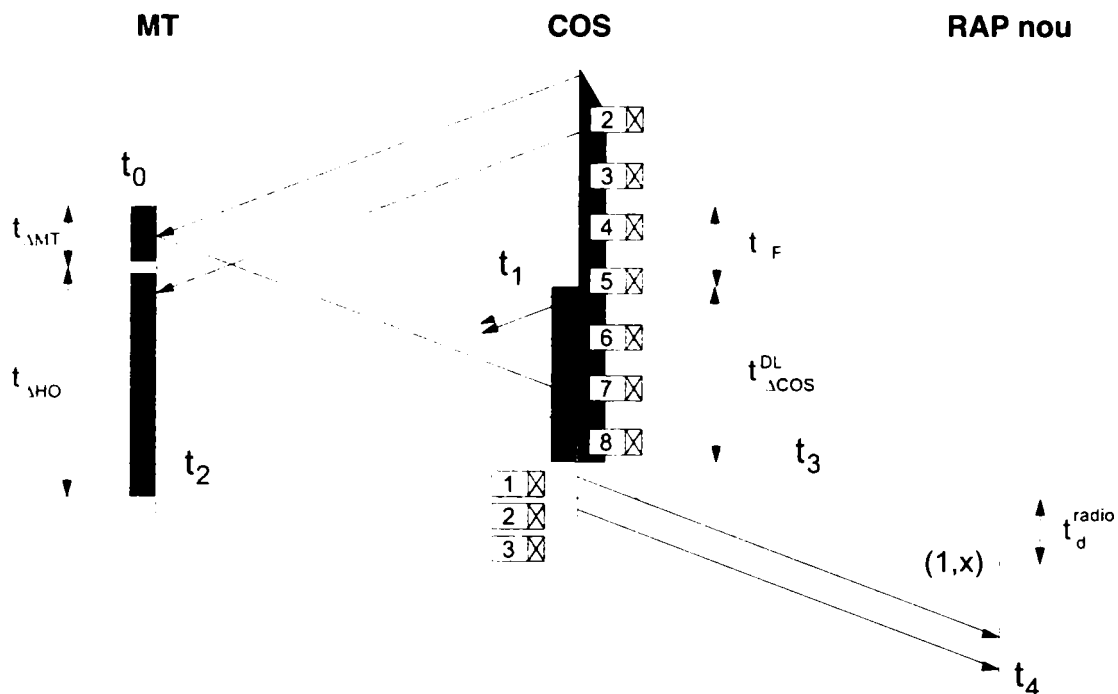


Figura 4.29: Transfer înapoi forțat

Această anulare a înregistrării la stația de bază se petrece fără nici o interacțiune cu nodul de rețea, prin urmare fără întârziere, permițând în acest fel o reacție deosebit de rapidă la condițiile schimbătoare de câmp electromagnetic.

Transferul fizic forțat poate avea loc la orice moment  $t_0$  și deci oriunde în interiorul segmentului de flux de celule. Offset-ul  $x$  se calculează cunoscând timpul de propagare pentru segmentul dat rămas  $\overline{\delta_T}$  potrivit ecuației (41). Dacă  $\overline{\delta_T}$  este mai mic decât întârzierea la transfer  $t_{\Delta MT}$ , atunci terminalul mobil mai are timp să

confirme recepția unui segment înainte de a termina transmisia pe canalul radio vechi. În caz contrar, offset-ul poate atinge valoarea maximă a unui interval de tag. La scurgerea intervalului de timp reprezentat de întârzierea de transfer, terminalul mobil transmite o celulă End-of-Line în uplink și efectuează transferul forțat care este terminat la momentul  $t_2$  (vezi figura 4.29).

La rândul lui, punctul de comutare termină procesul de rerutare în momentul  $t_1$  și începe, după scurgerea timpului de întârziere corespunzător, retransmiterea în downlink a conținutului buffer-ului de copii. Dacă întârzierea negativă de transfer  $t_{\Delta F}$  este îndeajuns de mare, atunci se pot recepționa încă confirmări pentru ultimul segment recepționat complet precum și semnalul End-of-Line al uplink-ului. Dacă  $t_{\Delta F} \rightarrow 0$  atunci transferul forțat devine un transfer înapoi în condiții optime.

Numărul maxim de celule ale căror copii au fost stocate în buffer-ul COS-ului în cazul unui transfer forțat este la momentul  $t_3 = t_1 + t_{\Delta COS}^{DL}$

$$C_{RB}^{F,max} = \overline{R_C} \cdot \delta_T + \left( \overline{R_C} + \frac{1}{\delta_T} \right) (2 \cdot t_{\Delta d}^{vechi} + \delta_T + t_{\Delta F} + t_{\Delta COS}^{DL}) \quad (50)$$

Conținutul acestui buffer este retransmis spre stația de bază nouă. Optimizarea prin folosirea unui buffer LIFO nu este posibilă în acest caz, deoarece nici una din celule, cu excepția offset-ului  $x$ , nu a fost încă recepționată de terminalul mobil. De aceea este de preferat să se folosească un buffer FIFO, pentru a putea continua cât mai devreme transmisia de date utile în downlink. Primul segment complet a fost recepționat în totalitate de RAP-ul nou în momentul  $t_4 = t_3 + t_{\Delta d}^{nou} + R_{EB} \cdot \delta_T$ . Din acest moment se poate începe compararea ultimului tag de sincronizare recepționat cu offset-ul provenit de la terminalul mobil pentru a continua transmisia de date utile exact din locul de unde a fost întreruptă. Durata întreruperii în downlink este dată de

$$T_{U,DL}^F = t_4 - (t_2 + t_{\Delta d}^{radio}) = t_{\Delta F} + t_{\Delta COS}^{DL} + t_{\Delta d}^{nou} + R_{EB} \cdot \delta_T - t_{\Delta MT} - t_{\Delta HO} - t_{\Delta d}^{radio} \quad (51)$$

În uplink se poate începe teoretic din nou transmisia de date la momentul  $t_1$ , moment în care faza de rerutare este deja încheiată și un nou segment mobil stabilit. Practic, ea începe în momentul  $t_2$ , fără a fi influențată de faptul că în

downlink nu s-au recepționat încă tag-uri de sincronizare. Procedeeul de transfer reacționează robust, așteptând pur și simplu sosirea tag-ului următor care va confirma simultan recepția mai multor segmente de flux de celule. Întreruperea în uplink se obține din relația

$$T_{U,DL}^F = \begin{cases} t_{\Delta d}^{radio} + t_{\Delta d}^{nou} + t_{\Delta HO} - t_{\Delta d}^{vechi} & \text{dacă } t_2 > t_1 \\ t_{\Delta F} + t_{\Delta d}^{radio} + t_{\Delta d}^{nou} - t_{\Delta MT} - t_{\Delta d}^{vechi} & \text{dacă } t_2 \leq t_1 \end{cases} \quad (52)$$

Dacă transferul forțat are loc destul de aproape de sfârșitul fazei de rerutare ( $t_2 > t_1$ ) atunci întreruperea datorată transferului, în cazul transferului forțat, este identică celei din cazul favorabil al transferului înapoi (vezi ecuația 37). În caz contrar, determinanta este întârzierea negativă de handover  $t_{\Delta F}$ , deoarece terminalul mobil trebuie să aștepte terminarea fazei de rerutare pentru a putea relua transmisia.

#### 4.4.5 Transfer înainte forțat, utilizând procedeeul STH

Situația de ansamblu la transferul înainte se aseamănă foarte mult cu cea întâlnită în paragraful anterior, la transferul înapoi forțat. Nici aici nu a început procesul de rerutare în momentul executării transferului fizic. La terminarea acestuia, la momentul  $t_2$ , se mai așteaptă o perioadă de timp egală cu contribuția procesului de rerutare la latența de transfer

$$t'_{\Delta F} = t_{\Delta MT} + t_{\Delta HO} + t_{\Delta d}^{radio} + T_L^R \quad (53)$$

Analog cazului transferului forțat în downlink se pot calcula capacitatea necesară a buffer-ului, respectiv întreruperile în uplink și downlink pentru transferul înainte. Se poate observa cu ușurință importanța procesului de rerutare, care trebuie să fie pe cât posibil fără latență și cât mai performant. La transferul înainte, performanțele sale determină capacitatea buffer-ului și durata întreruperii fluxului de date utile. Datorită latenței reduse pe care o posedă, procedeele cu ancoră se pretează a fi utilizate în combinație cu transferul STH, pentru a facilita realizarea unui transfer înainte fără pierderi.



#### **4.4.6 Limitări și avantaje ale procedurii STH**

Procedura STH reacționează robust în cazul unui transfer forțat. Lipsa unor tag-uri în uplink conduce la retransmisia automată a celulelor neconfirmate către stația de bază nouă. Acolo se poate sincroniza conținutul buffer-ului cu stadiul actual al terminalului mobil și relua transmisia de date utile, de acolo de unde a fost întreruptă. Prin aceasta se asigură în orice moment realizarea unui transfer fără pierderi. De acest avantaj se bucură și transferul înainte cu singura deosebire că aici buffer-ul necesar are o capacitate mai mare.

Probabilitatea de a recepționa celule eronate este mărită în cazul efectuării unui transfer. Terminalul mobil se poate totuși sincroniza, chiar dacă a pierdut un tag de sincronizare. Tag-ul următor recepționat confirmă în această situație nu unul ci două segmente simultan. Important este ca să se înglobeze celulele eronate, ce urmează unui tag, în offset-ul  $x$ . În caz contrar pot apărea în interiorul unui interval de tag duplicări de celule respectiv schimbări ale ordinii corecte de transmisie.

#### **4.5 Definiția semnalelor OAM și a fluxurilor de tip F5 pentru STH**

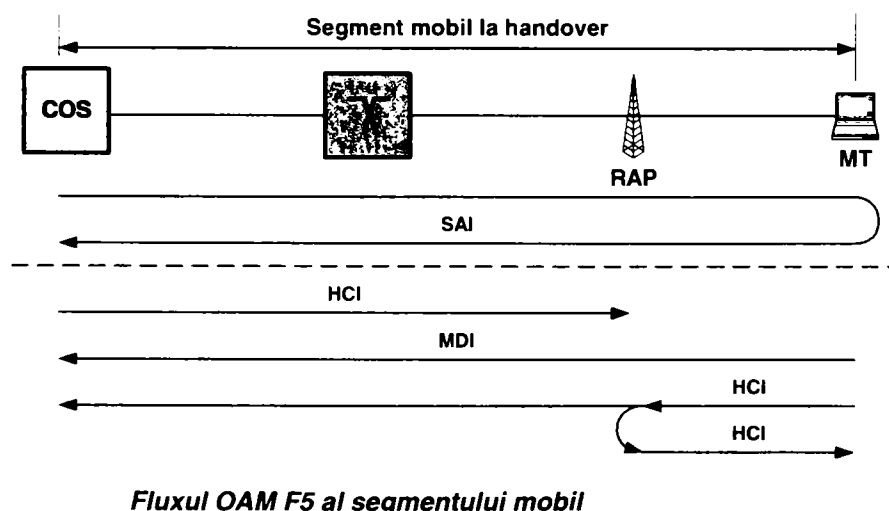
Procedura STH, propusă în această lucrare se bazează pe principiul semnalizării "in-slot" a subsistemului de Operation And Maintenance (OAM) din rețelele ATM. Pentru a adapta acest procedeu la sistematica OAM se vor defini în cele ce urmează mesaje OAM (tabelul 4.3) și principalele fluxuri de tip F5 care sunt definite prin aceste mesaje (figura 4.31).

În scopul gestiunii transferului se propune introducerea unei noi categorii funcționale pe care o denumim „handover management” și care cuprinde o serie de mesaje noi. Principiul care stă la baza transferului STH este inserția de semnale periodice de sincronizare în fluxul de celule ATM. Aceste mesaje periodice sunt denumite „Synchronisation and Acknowledgment Information (SAI)”. Ele poartă un număr curent care ajută la segmentarea fluxului de celule ATM și numerotarea acestor segmente. Terminalul mobil retransmite aceste mesaje SAI în uplink spre COS, care le poate analiza și constata care din segmente a fost recepționat corect de către MT. Ele au în uplink un rol de confirmare și de comandă a buffer-ului pentru o retransmisie controlată.

**Tabelul 4.3:** Mesaje OAM de comandă a transferului STH

Mesaj	Semnificație
Handover Complete Indication (HCI)	Prima celulă care este transmisă noului RAP în scop de resincronizare, după efectuarea transferului
Mobile Detach Indication (MDI)	Ultima celulă în uplink înainte de efectuarea transferului
Synchronisation and Acknowledgment Information (SAI)	Mesaj periodic ce conține tag-ul posedând un număr curent

Terminalul mobil inserează în uplink, în momentul executării unui transfer fără pierderi, un semnal de VC-Flushing. Acest mesaj, denumit „Mobile Detach Indication MDI”, indică punctului de comutare ultima celulă transmisă de terminalul mobil, permițându-i astfel o comutare fără pierderi a uplink-ului.

**Figura 4.30:** Mesaje OAM și fluxuri de tip F5 pentru STH

După recepția mesajului MDI, MT își anulează înregistrarea la vechiul RAP și este înregistrat la noul RAP cu ajutorul mesajului „Handover Complete Indication (HCI)”. Acest mesaj conține numărul curent al ultimului mesaj SAI recepționat corect în downlink, permițând astfel resincronizarea după efectuarea transferului, care se desfășoară fără pierderi și, cel puțin în downlink, adeseori chiar și fără întreruperi.

Pentru a realiza un transfer fără pierderi este necesar ca celulele conținând informația utilă stocate anterior în COS să fie retransmise spre stația de bază nouă. Acest protocol permite terminalului mobil în orice situație să efectueze în orice situație și în orice moment, un transfer fizic fără interacțiune cu celelalte elemente de rețea, transferul rămânând fără pierderi.

Numărul mic de mesaje folosite pentru implementare permite o înglobare facilă în standardele existente privind formatul celulelor OAM.

## 4.6 Concluzii

Capitolul 4 se ocupă în partea introductivă cu studiul surselor de eroare în cazul transferului unei conexiuni într-o rețea de tip Mobile ATM. Autorul analizează detaliat ambele direcții de transmisie, uplink și downlink, atât pentru transferul înainte cât și pentru transferul înapoi, identificând cazurile în care apar cele trei tipuri de erori: pierderi de celule, duplicări ale acestora sau inversarea ordinii corecte de transmisie. Cazul particular, cel mai des întâlnit în practică, al transferului de tip hard fără măsuri suplimentare de evitare a pierderilor de celule, este considerat de autor pentru estimarea frecvenței de pierdere a celulelor. În acest scop, se deduc relațiile de calcul ale parametrului denumit “perioada de vulnerabilitate”, definită ca fiind intervalul de timp în care pot apare pierderi de celule. Autorul deduce formulele de calcul ale acestui parametru pentru cele patru situații distincte: transfer înainte și înapoi, în uplink și downlink, precum și în cazul unui transfer “ping-pong”.

În cadrul calculului estimativ al frecvenței medii de pierdere a unei celule, autorul consideră cazul simplificat al componentei downlink aferente unei conexiuni mobile, modelate sub forma unei cozi de elemente în așteptare de tip M/D/1, căreia i se aplică o sursă de date de tip Poisson. Relația obținută ilustrează dependența frecvenței medii de pierdere a unei celule de viteza medie de deplasare a terminalelor, mărimea medie a celulelor și factorul de încărcare al șirului M/D/1. Un studiu parametric completează și exemplifică rezultatele teoretice, subliniind faptul că pierderile de celule sunt cu aproximativ două ordine de mărime mai mari decât cele stabilite prin parametrii de calitate definiți pentru rețele ATM. Această constatare

conduce la concluzia că, în scopul evitării pierderilor de celule, este neapărat necesară stocarea intermediară a informației în memorii de tip buffer.

În final este propus și analizat un nou procedeu de transfer fără pierderi bazat pe un sistem de semnalizare "in-slot" în care informația de semnalizare este multiplexată periodic în fluxul de date utile. Procedeu, denumit "Sync-Tag-Handover" permite, cu ajutorul tag-urilor, o predare-preluare controlată a datelor utile de la o stație de bază la alta precum și o resincronizare a fluxurilor de celule la stația de bază nouă. El se bazează, în principiu, pe un procedeu de rerutare cu ancoră, fiind conceput a fi utilizat pentru a suporta ambele tipuri de handover: forward și backward. Elementul central îl constituie un buffer în COS, în care sunt păstrate copii ale tuturor celulelor transmise în downlink, permițând o retransmisie flexibilă, atât pe calea veche cât și pe cea nouă. Sunt deduse relații de calcul pentru rata de transmisie a datelor din buffer ca și componentă esențială a întârzierii la comutare în COS. Este de remarcat compatibilitatea foarte bună a metodei propuse, cu transferul înapoi. Respectând anumite condiții temporale, acest tip de transfer se poate executa, în downlink, nu numai fără pierderi dar și fără întreruperi. Procedeu STH este foarte robust și în cazul unui transfer forțat, lipsa unor tag-uri conducând la retransmisia automată a celulelor neconfirmate către stația de bază nouă. Descrierea procedeuului STH este completată prin definirea a trei mesaje de semnalizare necesare implementării lui.

## 5 Concluzii generale

### 5.1 Privire de ansamblu asupra lucrării

În lucrarea de față autorul prezintă, într-o primă parte introductivă, motivele care au condus la elaborarea și proiectarea de sistemele celulare fără fir de bandă largă și oferă o imagine de ansamblu asupra tehnologiilor actuale, a proiectelor de cercetare respectiv a eforturilor de standardizare. Prin schițarea unor scenarii de utilizare, se exemplifică cerința tot mai mare de aplicații multimedia, născută din convergența piețelor TIME clasice (Telecommunication, Information, Media, Entertainment) ce s-au dezvoltat până acum separat. Elementul catalizator al acestei convergențe îl constituie progresul tehnologic al sectorului de telecomunicații, în special în domeniul telefoniei mobile, precum și Internet-ul. Generația 3G de rețele mobile oferă, la scară largă și cu o calitate a serviciilor net superioară celei de până acum, tocmai această simbioză între mobilitate și accesul la Internet.

Una din soluțiile tehnologice de implementare a unui sistem mobil de bandă largă, considerată de către autor în lucrarea de față, este cea a adaptării modului de transmisie asincron ATM la cerințele unei rețele celulare cu abonați mobili. În acest scop este necesară extinderea standardului ATM, prevăzut inițial a funcționa în rețele fixe cu parametri de calitate deosebit de ridicați.

Cele două teme centrale în acest context sunt:

- specificarea interfeței radio;
- definirea procedeeleor de comutare specifice telefoniei mobile.

Autorul tratează în lucrare unul din aspectele centrale ale comutării ATM și anume procedeele de rerutare respectiv de transfer fără pierderi al conexiunii. Rerutarea este procesul care asigură, pe planul conexiunii, la orice moment dat în timp, dirijarea controlată a conexiunilor unui terminal mobil spre punctul de conectare la rețea, activ în momentul respectiv. În acest scop se caută o nouă cale parțială a conexiunii prin rețea. În cadrul procesului de comutare de pe o cale

parțială pe alta, procedeele de transfer fără pierderi previn, pe planul celulelor ATM, pierderea, duplicarea sau inversarea ordinii corecte de transmitere a acestor celule.

Parcurgerea și sinteza materialului bibliografic a urmărit analizarea stadiului actual al cercetării în acest domeniu, având drept rezultate:

- descrierea unor scenarii tipice pentru interfața radio;
- definirea unor cerințe ce trebuiesc îndeplinite de procedeele de comutare.

Astfel, autorul constată necesitatea compatibilității cu ambele procedee de transfer: atât cel de tip înapoi (Backward Handover, make-before-break), în care vechea conexiune este menținută până când este stabilită o conexiune nouă stabilă, cât și cel de tip înainte (Forward Handover, break-before-make), în care conexiunea existentă este întreruptă în mod abrupt.

În scopul creșterii eficienței rerutării, autorul introduce în cadrul lucrării de față o arhitectură ierarhică de rețea în care, pe plan local, este amplasat un nod de comutație ATM cu suport al mobilității (Mobility supporting ATM Switch, MAS) ce controlează toate transferurile din zona căreia îi aparține. Acest MAS este neapărat necesar a fi situat la granița dintre domeniul mobil al rețelei, în care se deplasează terminalele și domeniul fix al acesteia. Declanșarea unui proces de rerutare devine necesară numai în momentul traversării graniței dintre două zone învecinate (transfer interzonal). În acest plan superior a fost amplasat, în mod corespunzător, un al doilea nod de comutație ATM cu suport al mobilității (Area Communication Server, ACS) care controlează, dinspre rețea, acest transfer.

Pentru analiza traficului de handover și estimarea sarcinii provocate de acesta în rețea, autorul concepe o analiză bazată pe principiul dinamicii fluidelor (Fluid Flow) de modelare a mobilității, traficul util fiind descris cu ajutorul unui proces Poisson.

Luând în considerare și analizând procedeele de rerutare, autorul constată antagonismul celor două țeluri urmate în definirea unui astfel de procedeu: performanțele sale și economia de resurse. O performanță ridicată, exprimată printr-o latență de handover scăzută, este posibilă numai utilizând un procedeu de rerutare proactiv, cu alte cuvinte un procedeu în care se rezervă dinainte resurse în rețea. Dimpotrivă, numai în cazul în care rerutarea este de tip reactiv, cu căutare

dinamică în timp real, în decursul efectuării transferului, a noii căi, se pot gestiona judicios resursele disponibile, prin alegerea unei căi optime din punct de vedere a costurilor.

Autorul efectuează o clasificare sistematică, pertinentă, a procedeeleor de rerutare existente, urmată în lucrare de prezentarea unui nou procedeu, cu latență redusă, bazat pe o ancoră permanentă și un arbore de căi virtuale VP. Acest arbore nu este specific unui circuit VC anume, resursele înglobate în el putând fi alocate în mod flexibil tuturor conexiunilor aparținând aceluși domeniu de ancoră. Beneficiul avut de pe urma căilor directe, dinainte stabilite, din acest arbore VP, este un efort deosebit de scăzut depus la rerutare, latența de transfer fiind astfel redusă la un nivel minim, practic independent de topologia rețelei. Această arhitectură de rețea mobilă, denumită Mobile Network Architecture based on Virtual Path (MNAVP), oferă avantajele unui procedeu proactiv de rerutare fără a poseda dezavantajele privind economia de resurse, deoarece singurul compromis care s-a făcut în acest sens a fost introducerea ancorei fixe. Arhitectura de rețea MNAVP este comparată în lucrare, pe baza mai multor criterii, cu procedee similare din literatura de specialitate.

Avantajul oferit de introducerea unei subdiviziuni logice a rețelei, bazată pe căi virtuale VP, în interiorul unui domeniu de ancoră, constă în posibilitatea dirijării și adaptării flexibile a traficului de rerutare la cerințele pe termen lung din rețea. Un domeniu de ancoră poate fi extins printr-o interconectare logică multiplă chiar și peste granițele sale fizice, domenii alăturate putându-se chiar suprapune parțial. În lucrarea de față autorul propune utilizarea suprapunerii logice a domeniilor de ancoră pentru a introduce o histereză de handover care este în măsură a reduce numărul de transferuri consecutive între aceste domenii. Pentru exemplificarea avantajelor utilizării unei histereze, autorul efectuează o analiză comparativă a acesteia cu ajutorul unui model probabilistic de tip Markov discret ce descrie succesiunea transferurilor. Rezultatul analizei constă în determinarea unui parametru denumit "câștig de histereză", definit ca fiind factorul cu care se reduce frecvența unui transfer interzonal în funcție de probabilitățile de stare a diverselor transferuri consecutive. Prin comparația directă a procedului MNAVP cu patru alte procedee reprezentative de rerutare, se constată că procedeele de rerutare bazate

pe VP sunt ineficiente, în cazul unei mobilități ridicate a terminalelor, prezentând o structură ierarhică impusă de existența ancorelor ACS fixe.

În această lucrare autorul tratează pe lângă rerutare, care nu reprezintă altceva decât un transfer pe planul conexiunii, și celălalt tip de transfer, cel efectuat pe planul celulelor ATM. Analiza în detaliu a situației la comutarea de pe calea parțială veche a conexiunii, pe noul segment mobil, calculat în decursul procesului de rerutare, este urmată de identificarea situațiilor în care pot apărea pierderi de celule, duplicate, sau este inversată ordinea corectă de transmitere a acestora. Se constată că, în cea mai mare parte a cazurilor, avem de-a face cu pierderi de celule.

Pentru cele două cazuri tipice de transfer: Backward Handover și Forward Handover, autorul introduce un nou parametru denumit “perioada de vulnerabilitate”, exprimat ca fiind intervalul de timp în care pot lua naștere pierderi de celule. Din calculul estimativ al frecvenței medii de pierdere a celulelor, raportată la întreaga durată a conexiunii, autorul deduce necesitatea definirii unui procedeu ce garantează un transfer fără pierderi. Procedeele întâlnite în literatură au fost concepute numai pentru un transfer înapoi hard, nefiind aplicabile în cazul transferului înainte sau cauzând pierderi de celule.

Autorul propune în cadrul lucrării, prin analogie cu procedeu OAM specific rețelelor ATM, un procedeu de sincronizare bazat pe introducerea periodică în fluxul de date utile a unor celule de semnalizare “in-slot”. Denumit Sync-Tag-Handover, STH, el permite comanda și controlul flexibil al transferului fără pierderi la nivel de celulă ATM. Avantajele procedeuului STH sunt:

- controlul memoriilor intermediare de tip buffer, ce permit retransmiterea celulelor pierdute, precum și sincronizarea conexiunilor simultane “dualcast” ce conduc la minimizarea pierderilor la transfer, făcându-l astfel apt a fi utilizat pentru aplicații în timp real și deasemenea pentru un transfer soft pe interfața radio. În acest ultim caz procedeuul ar putea sincroniza cele două căi de semnalizare, între care comutarea s-ar efectua instantaneu.
- permite efectuarea unui transfer fără pierderi, fără a fi necesară conectarea directă a stațiilor de bază învecinate, reducând efortul de coordonare al managementului rețelei și fiind deci aplicabil și la rețele mari, peste granițele



domeniilor de ancoră, atunci când o legătură directă este foarte greu, dacă nu imposibil, de realizat.

În completarea descrierii procedurii STH, autorul definește trei mesaje OAM de semnalizare necesare implementării lui, numărul mic de mesaje facilitând înglobarea în standardele existente privind formatul celulelor OAM.

## 5.2 Contribuții personale

Contribuțiile personale din această lucrare se pot rezuma după cum urmează:

- analiza sistematică pe baza unei bibliografii recente a cerințelor actuale privitoare la rețelele de banda largă, în condițiile creșterii continue a volumului de informații transmise (paragraful 1.3);
- analiza cercetărilor actuale din domeniul WATM, în scopul stabilirii principalelor direcții de cercetare din cadrul tezei (paragraful 2.1);
- definirea și analiza scenariilor privitoare la transmisia radio, pentru a concretiza cerințele impuse asupra sistemelor WATM (paragrafele 2.2, 2.3);
- modelarea analitică și studiul numeric al traficului de handover (paragraful 2.4);
- clasificarea sistematică și comparativă a metodelor de rerutare descrise în literatură (paragraful 3.3);
- introducerea unei metode noi de rerutare bazată pe căi virtuale (MNAVP) ce reduce, cu efort limitat, latența inerentă transferului conexiunii (paragraful 3.4.2);
- determinarea câștigului de histereză bazată pe analiza probabilității de apariție a transferului interzonal, folosind un model Markov discret (paragraful 3.4.3);
- validarea eficienței metodei MNAVP prin compararea parametrilor de evaluare a efortului depus, cu cei întâlniți în cazul altor metode propuse sau folosite (paragraful 3.6);

- analiza situațiilor care conduc, pe timpul desfășurării unei operații de transfer, la pierderi de celule, duplicarea unor celule sau la inversarea ordinii corecte de transmitere a acestora (paragrafele 4.1, 4.2, 4.3);
- introducerea unei noi metode de transfer (STH) pentru transferul înainte și înapoi (Forward and Backward Handover) precum și pentru transferul în timp real cu pierderi limitate (paragraful 4.4.1);
- modelarea analitică și studiul numeric al metodei STH (paragraful 4.4.2);
- determinarea relațiilor de calcul pentru intervalul de tag optim, a capacității medii și maxime a memoriei tampon precum și a ratei de golire a acesteia (paragraful 4.4.2);
- definirea semnalelor OAM și a fluxurilor de semnalizare pentru metoda propusă (paragraful 4.5).

### 5.3 Concluzii

Din analiza aprofundată efectuată asupra diverselor procedee de rerutare existente, din perspectiva cerințelor generale impuse, se pot desprinde mai multe concluzii :

- transferul și rerutarea conexiunii sunt direct influențate de arhitectura rețelei, toate celelalte aspecte ale mobilității (localizare, actualizarea informației de locație, paging, roaming) putând fi realizate prin mecanisme și protocoale corespunzătoare de semnalizare;
- dimensiunile foarte reduse ale celulelor din care este compusă rețeaua, conduc la o rată de transfer relativ ridicată și implicit la nevoia definirii unui procedeu eficient de rerutare;
- un procedeu de rerutare eficient trebuie să fie compatibil cu ambele procedee de transfer: atât cel de tip înainte (Forward Handover, break-make) cât și cel de tip înapoi (Backward Handover, make-break);
- fluxul parțial de trafic al unei clase anume de terminale mobile nu este dependent în mod linear de densitatea acestor terminale. O densitate foarte

scăzută de terminale mobile într-o anumită celulă conduce la o rată scăzută de traversare a graniței celulei, deci la o rată de transfer scăzută, fluxul parțial crescând odată cu creșterea densității până la atingerea unei valori maxime ca mai apoi să scadă continuu până ajunge la zero, la o valoare a densității ce conduce la blocarea traficului;

- utilizând procedeul MNAVP se diminuează considerabil efortul depus la rerutare, latența de transfer fiind redusă la un nivel minim, practic independent de topologia rețelei. Arhitectura de rețea mobilă MNAVP oferă avantajele unui procedeu proactiv de rerutare fără a avea dezavantajele acestuia în ceea ce privește economia de resurse;
- prin suprapunerea logică a domeniilor de ancoră este posibilă introducerea unei histereze de handover, cu scopul de a reduce numărul de transferuri interzonale consecutive;
- cu ajutorul câștigului de histereză (definit ca fiind factorul cu care se reduce frecvența unui transfer interzonal în funcție de probabilitățile de stare ale diverselor transferuri consecutive), se constată că procedeele de rerutare bazate pe VP sunt ineficiente în cazul unei mobilități ridicate a terminalelor, având o structură ierarhică impusă de existența ancorelor ACS fixe. Ele se pretează a fi utilizate în rețelele de tip WAN sau la introducerea treptată a mobilității în rețele ATM existente;
- din punct de vedere al latenței de transfer, procedeul cu ancoră MNAVP este relativ independent (pentru timpii de parcurgere a rețelei de către mesajele de semnalizare) sau chiar complet independent de topologia rețelei (pentru timpul de prelucrare a acestora), datorită conexiunilor logice directe dintre MAS și COS respectiv ACS.

Studiul transferului conexiunii în rețelele ATM cu suport al mobilității oferă posibilitatea de a face următoarele observații:

- frecvența medie de pierdere a unei celule, raportată la întreaga durată a conexiunii, este dependentă de viteza medie de deplasare a terminalelor, mărimea medie a celulelor și factorul de încărcare al cozii de elemente în așteptare  $M/D/1$ ;

- pierderile de celule sunt cu aproximativ două ordine de mărime mai mari decât cele stabilite prin parametrii de calitate definiți pentru rețelele ATM fixe, ceea ce face neapărat necesară stocarea intermediară a informației în buffere de memorare;
- în cazul procedurii STH de transfer fără pierderi prezentat, este posibilă, la orice moment dat în timp, o predare-preluare controlată a datelor utile de la o stație de bază la alta precum și o resincronizare a fluxurilor de celule la stația de bază nouă;
- utilizat în cazul transferului înapoi, STH permite, în downlink, respectând anumite condiții temporale, un transfer fără pierderi sau întreruperi;
- procedeul STH se poate utiliza cu succes și în cazul transferului înainte sau al transferului "soft", în care caz facilitează sincronizarea între cele două fluxuri de celule.

#### 5.4 Perspective de viitor

Pornind de la analiza efectuată în teza de față, se pot contura și alte direcții interesante de cercetare. Un exemplu în acest sens îl reprezintă transferul conexiunilor de tip multicast. Deasemenea, discuția cu privire la procedeele de transfer se poate extinde la o discuție privitoare la tipurile de arhitecturi de rețele WATM, pornind de la cerința de a realiza o comutare separată a uplink-ului și downlink-ului, furnizând totodată mecanismele adecvate pentru un transfer fără pierderi. După cum s-a văzut în lucrare, un transfer fără pierderi nu înseamnă implicit și un transfer fără perturbații, el influențând în mare măsură caracteristicile de trafic ale fluxurilor de date utile din rețea. Aceste caracteristici trebuiesc adaptate pentru a asigura menținerea nivelului garantat de calitate al serviciilor, mecanismele de adaptare constituind un alt domeniu interesant de cercetare.

În această lucrare s-au omis intenționat aspectele legate de proiectarea rețelelor WATM și anume teme cum ar fi: topologia rețelei, proiectare de rețea bazată pe modele de mobilitate picocelulare, rerutare cu adaptare la mobilitate. Amplasarea judicioasă a ancorei reprezintă un punct esențial în contextul

economisirii resurselor din rețea. Numai printr-o analiză completă a procedeeelor de rerutare în corelație directă cu topologia adecvată, adaptată la cerințele de dimensionare a rețelei, se poate realiza o proiectare optimă a rețelelor WATM.

# Bibliografie

- [1] Acampora, A. S.; Naghshineh, M.: "An Architecture and Methodology for Mobile-Executed Handoff in Cellular ATM Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 12, no.8, October 1994.
- [2] Acampora, A. S.; Naghshineh, M.: "Control and Quality-of-Service Provisioning in High-Speed Microcellular Networks", *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 1, no. 2, 2nd Quarter 1994.
- [3] Acharya, A.; Rajagopalan, B.; Raychaudhuri, D.: "Mobility Management in Wireless ATM Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 11, November 1997, pp. 100-109.
- [4] Acharya, A.; Li, J.; Ansari, F.; Raychaudhuri, D.: "Mobility Support for IP over Wireless ATM", *IEEE Communications Magazine*, vol. 36, no. 4, April 1998, pp. 84-88.
- [5] Agrawal, P.; Hyden, E.; Krzyzanowski, P.; Mishra, P.; Srivastava, M. B.; Trotter, J. A.: "SWAN –A mobile multimedia wireless network." *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 3, no.2, pp. 18-33, 1996.
- [6] Ai-Chun P.; Yi-Bing L.: "Comparing soft and hard handoffs", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 49, Issue 3, May 2000, pp. 792-798.
- [7] Akyildiz, I.; Xie, J.; Mohanty, S.: "A Survey of Mobility Management in Next-Generation All-IP-Based Wireless Systems", *IEEE Wireless Communications*, August 2004, pp. 16-28.
- [8] Akyol, B. A.; Cox, D. C.: "Handling Mobility in a Wireless ATM Network", *IEEE Infocom '96, San Francisco, March 24-28, 1996, Conference Proceedings*; IEEE, 1996.
- [9] Akyol, Bora A.; Cox, Donald C.: "Rerouting for Handoff in a Wireless ATM Network", *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 3, no. 5, October 1996, pp. 26-33.
- [10] Akyol, Bora A.: "An architecture for a future Wireless ATM network", Dissertation, Stanford University, 1997.
- [11] Aldis, J.; Althoff, M.; Van Nee, R.: "Physical Layer Architecture and Performance in the WAND User Trial System", *Proceedings ACTS Mobile Communications Summit*, November 27-29, 1996, Granada, Spain.
- [12] Alonso, E.; Meier-Hellstern, K. S.; Pollini, G. P.: "Influence of cell geometry on handover and registration rates in cellular and universal personal telecommunication networks", *Proceedings 8th ITC Specialist Seminar on Universal Personal Communication*, Santa Margherita Ligure, Italien, October 12 – 14, 1992, pp. 261-270.
- [13] Anastasi, G.; Lenzini, L.; Mingozi, E.; Hettich, A.; Krämling, A.: "MAC Protocol for Wideband Wireless Local Access: Evolution Toward Wireless ATM", *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 5, no. 5, October 1998, pp. 53-64.
- [14] Andermo, P.-G.; Ewerbring, L.-M.: "A CDMA-Based Radio Access Design for UMTS", *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 2, no. 1, February 1995.
- [15] Anderson, J.; Nguyen, M.D.: "ATM-Layer OAM Implementation Issues", *IEEE Communications Magazine*, September 1991, pp. 79-81.
- [16] Ash, G. R.: "Dynamic Routing in Telecommunication Networks". New York: McGraw-Hill, 1997.
- [17] ATM-Forum: "ATM User-Network Interface Specification", *The ATM Forum*, Version 4.1, November 2002.
- [18] ATM-Forum: "Domain-based rerouting for active point-to-point-calls", *The ATM Forum*, Version 1.0, August 2001.

- [19] ATM-Forum: "Traffic Management Specification", *The ATM Forum*, Version 4.1, March 1999.
- [20] ATM-Forum: "Baseline Text for Wireless ATM specification", *The ATM Forum Technical Committee Wireless ATM Working Group*, BTM-WATM-01.09, October 1998.
- [21] ATM-Forum: "Wireless Mobile Terminal/Network Anchor Switch Handover Model", *The ATM Forum Technical Committee Wireless ATM Working Group*, Contribution ATMF 97-0265.
- [22] ATM-Forum: "Requirements for soft handover", *The ATM Forum Technical Committee Wireless ATM Working Group*, Contribution ATMF 97-0696.
- [23] ATM-Forum: "Framework for Dynamic COS Discovery in Wireless ATM", *The ATM Forum Technical Committee Wireless ATM Working Group*, Contribution ATMF 98-0005.
- [24] Awater, G.A.; Kruys, J.: "Wireless ATM – an overview", *MONET – Mobile Networks and Applications Volume 1 (1996), no. 3*, pp. 235-243.
- [25] Bakker, H.; Schödl, W.: "ATM up to the mobile terminal – impact on the design of a cellular broadband system", *proceedings XVI. World Telecommunications Congress ISS'97*, September 21-36, 1997, vol. 2, pp. 379-385.
- [26] Banerjee, A.: "Queueing delays in rate controlled ATM networks", *Proceedings Infocom 93*, San Francisco, March 1993.
- [27] Banerjee, S.; Tipper, D.; Weiss, B. H. M.; Khalil, A.: "Traffic Experiments on the vBNS Wide Area ATM Network", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 8, August 1997, pp. 126-133.
- [28] Banh, B.; Anido, G.; Dutkiewicz, E.: "Handover Re-routing Schemes for Connection Oriented Services in Mobile-ATM Networks", *IEEE 1998*.
- [29] Bauchot, F; Hansén, H.; van Herreweghen, E.; Immonen, J; Kassler, A.; Kryus, J.; Loukas, N.; Lunn, A.; Marias, I.; Mikkonen, J.; Mitts, H.; Niemi, M.; Nyman, P.; Passas, N; Pavlides, I.; Rauhala, K.: "WAND design requirements", *Magic WAND – ACTS Project AC085, WP 1, CEC Deliverable 1D3, September 30, 1996*.
- [30] Bauschert, Th.: "Optimale Dimensionierung von ATM Weitverkehrsnetzen mit mehrstufiger Durchschaltung", Teza de doctorat, Technische Universität München, 1997.
- [31] Berruto, E.; Bräunlund, T.; Gustafsson, J.; Maiwald, D.; Schott, W.; Whitworth, P.: "Radio Protocol Architecture of the CODIT UMTS System", in: *Ch. Günther (Hrsg.) Mobile Communications – Advanced Systems and Components, Proceedings of the 1994 Intern. Zürich Seminar on Digital Communication*, Lecture Notes in Computer Science 783. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1994, S. 417-427.
- [32] Bettstetter, Ch.; Vögel, H.-J.; Eberspächer, J.: "GSM Phase 2+ General Packet Radio Service GPRS– Architecture, Protocols, and Air Interface", *IEEE Communications Surveys*, vol. 2, no. 3, 1999.
- [33] Bhagavat, V. K.: "Emerging High-Speed xDSL Access Services: Architectures, Issues, Insights, and Implications", *IEEE Communications Magazine*, vol. 37, no. 11, November 1999, pp. 106-114.
- [34] Biswas, S.K.; Hopper, A.: "An Agent Based Signalling Architecture for Supporting Mobility in Radio ATM Networks", *International Journal of Communication Systems*, vol. 10, no. 2, March-April 1997, pp. 87-102.
- [35] Borda, M.E.: "Teoria transiterii informatiei. Teoria informatiei si codarii. Fundamente si aplicatii", *Ed. Dacia*, Cluj-Napoca, 1999

- [36] Boumerdassi, S.: "A New Channel Reservation and Prediction Concept in Cellular Communication Systems". In: Kühn, P.; Ulrich, R. (Hrsg.): "Broadband Communications – The future of telecommunication", *Proceedings of BC'98 IFIP TC 6 / WG6.2 Fourth International Conference on Broad-band Communications, April 1-3 1998, Stuttgart, Germany*. London, Weinheim, Chapman&Hall, 1998, pp 1157-1168.
- [37] Breuer, H.-J.: "ATM-Layer OAM: Principles and Open Issues", *IEEE Communications Magazine*, September 1991, pp. 75-78.
- [38] Bush, S. F.; Evans, J. B.; Frost, V.: "Mobile ATM buffer capacity analysis", *Mobile Networks and Applications*, vol. 1, 1996, pp. 67-73.
- [39] Canton, A.F.; Tohme S.; Zeglache D.; Chahed T.: "Performance analysis of AAL2/ATM in UMTS Radio Access Network for voice traffic", *Technical Report INT 02002-RST*, 2002
- [40] Chen, T.S.; Liu, S.S.: "Management and Control Functions in ATM Switching Systems", *IEEE Network*, July/August 1994, pp. 27-40.
- [41] Cheng, M.; Rajagopalan, S.; Chang, L. F.; Pollini, G. P.; Barton, M.: "PCS Mobility Support over Fixed ATM Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 11, November 1997, pp. 82-92.
- [42] Cheng, F.-C.; Holtzman, J. M.: "Wireless Intelligent ATM Network and Protocol Design for Future Personal Communication Systems", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 15, no. 7, September 1997, pp. 1289-1307.
- [43] Chiasserini, C-F.; Lo Cigno, R.: "Handovers in Wireless ATM Networks: In-Band Signaling Protocols and Performance Analysis", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 1, no.1, January 2002, pp. 87-100.
- [44] Chua, K. C.; Ravi, K. V.; Bensaou, B.; Pek, T. C.: "Wireless Broadband Communications: Some Research Activities in Singapore", *IEEE Communications Magazine*, vol. 37, no. 11, November 1999, pp. 84-90.
- [45] Cioffi, J. M.; Oksman, V.; Werner, J.-J.; Chow, J. S.; Jacobsen, K. S.: "Very-High-Speed Digital Subscriber Lines", *IEEE Communications Magazine*, vol. 37, no. 4, April 1999, pp. 72-79.
- [46] Ciotti, C.: "ACTS Median: Wireless Broadband CPN/LAN for Professional and Residential Multimedia Applications", *Proceedings W-ATM workshop*, Helsinki, September 1996.
- [47] Ciotti, C.; Borowski, J.: "The AC006 Median Project – Overview and State-of-the-Art", *ACTS Mobile Summit*, Granada, Spain, November 1996.
- [48] Cygan, D.; David, F.; Eul, H.J.; Hofmann, J.; Metzner, N.; Mohr, W.: "RACE-II Advanced TDMA Mobile Access Project – An Approach to UMTS", in: Ch. Günther (Hrsg.) *Mobile Communications – Advanced Systems and Components, Proceedings of the 1994 Intern. Zürich Seminar on Digital Communication*, Lecture Notes in Computer Science 783. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1994s, S. 428-439.
- [49] Decrauzat, S.; Bonnet, C.; Bauchot, F.; Marmigère, G.: "Wireless ATM MAC Dynamic Control within WAND", *Proceedings of the wmATM98 Workshop*, Hangzhou, China, April 1998.
- [50] Degenhard, K.; Litzemberger, M.; Bakker, H.; Schödl, W.: "Design Issues of a Cellular Broadband ATM Access Network", *Conference Proceedings European Personal Mobile Communications Conference EPMCC'97, ITG-Fachbericht 145*, Bonn, 30. Sept. – 2. Okt. 1997. Berlin, Offenbach: VDE-Verlag GmbH, 1997.
- [51] Dehghan, S.; Steele, R.: "Small Cell City", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no.8, August 1997, pp. 52-59.
- [52] Dellaverson, L.: "Reaching for the new frontier", *53 Bytes – The ATM Forum Newsletter*, vol. 4, no. 3, October 1996.



- [53] Dellaverson, L.; Dellaverson, W.: "Distributed Channel Access on Wireless ATM Links", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 11, November 1997, pp. 110-113.
- [54] Dinis, M.; Lagarto, V.; Prögler, M.; Zubrzycki, J.: "SAMBA: a Step to Bring MBS to the People". <http://hostria.cet.pt/samba/general/GeneralArchive.htm>, Februar 2000.
- [55] Dommety, G.; Veeraraghavan, M.; Singhal, M.: "A Route Optimization Algorithm and Its Application to Mobile Location Management in ATM Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 6, August 1998, pp. 890-908.
- [56] Drewes, C.; Hasholzner, R.; Hammerschmidt, J.S.: "On the Implementation of Adaptive Equalizers for Wireless ATM with an Extended QR-Decomposition-Based RLS-algorithm", *Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP'98)*, Seattle, WA, USA, May 12-15, 1998.
- [57] Drewes, C.; Hasholzner, R.; Hammerschmidt, J.S.: "TDMA-based broadband fixed radio access: Performance and implementation issues of adaptive equalizers", *Proc. Int'l Zurich Seminar on Broadband Communications IZS '98*, Zurich, Switzerland, Feb. 1998, pp. 193-200.
- [58] Eberspächer, J.; Vögel, H.-J.: "GSM – Global System for Mobile Communication. Vermittlung, Dienste und Protokolle in digitalen Mobilfunknetzen". Stuttgart: Teubner, 1997.
- [59] Eberspächer, J.; Vögel, H.-J.: "GSM – Global System for Mobile Communication. Switching, Services and Protocols". Chichester: John Wiley & Sons, 1998.
- [60] Eberspächer, J.; Vögel, H.-J.: "GSM – Global System for Mobile Communication. Vermittlung, Dienste und Protokolle in digitalen Mobilfunknetzen". 2. überarbeitete und erweiterte Auflage, Stuttgart: Teubner, 1999.
- [61] Eberspächer, J.; Fischer, N.; Kühn, P. et. al.: "Systeme der Vermittlungstechnik", *Recomandarea ITG 5.2-02*
- [62] Edmaier, Fischer, Eberspächer, Klug: "Alignment server for hitless path switching in ATM networks", *Proc. of the International Switching Symposium ISS*, vol. 2, Berlin, 23.-28. April 1995, pp. 403-407.
- [63] Edmaier, B.: "Pfad-Ersatzschaltverfahren mit verteilter Steuerung für ATM-Netze", Teza de doctorat, Technische Universität München, 1996.
- [64] Eisenschmid, M.; Vögel, H.-J.; Werner, M.: "Handover Signalling in LEO/MEO Satellite Systems", *Proceedings ICPMSC'96 International Conference on Personal Mobile and Spread Spectrum Communication*, Hong-Kong, 3.-5.12.1996, pp. 117-120. Hong Kong: The Institution of Electrical Engineers, 1996.
- [65] Elliott, E. O.: "Estimates of Error Rates for Codes on Burst Noise Channels", *Bell Syst. Techn. Journal*, vol. 42, 1963, pp. 1977-1997.
- [66] Eng, K.Y.; Karol, M.J.; Veeraraghavan, M.; Ayanoglu, E.; Woodworth, C.B.; Pancho, P.; Valenzuela, R.A.: "A wireless broadband ad-hoc ATM local-area network", *Wireless Networks 1 (1995)*, J.C. Baltzer AG, Science Publishers, 1995, S. 161-174.
- [67] Eng, K.Y.; Karol, M.J.; Veeraraghavan, M.; Ayanoglu, E.; Woodworth, C.B.; Pancho, P.; Valenzuela, R.A.: "BAHAMA: A broadband ad-hoc wireless ATM local-area network", *ICC 95, Conference Proceedings*, IEEE, 1995, S. 1216-1223.
- [68] Esparza Sanz, A.: "Leistungsuntersuchung von Routingverfahren in Mobile ATM Netzen", *Lucrare de diploma, Catedra de retele de comunicatii*, TU München, 1998.
- [69] Esseling, N.; Kadelka, A.; Scheibenbogen, M.: "Signalling for a Wireless Mobile Broadband System Demonstrator", *Proceedings 2nd International Distributed Conference on Network Interoperability Madeira'97*, Funchal, Madeira, Portugal, June 1997.
- [70] ETSI: "Radio broadcasting systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers", ETS 300 401, second edition, May 1997.

- [71] ETSI: "Digital Audio Broadcasting (DAB); Interaction channel through GSM, PSTN, ISDN and DECT", TS 101 737, V1.1.1, Januar 2000.
- [72] ETSI: "Digital Video Broadcasting (DVB); A guideline for the use of DVB specifications and standards", TR 101 200, V1.1.1, September 1997.
- [73] ETSI: "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television", EN 300 744 V1.2.1, Juli 1999.
- [74] ETSI: "Broadband Radio Access Networks (BRAN): High Performance Radio Local Area Network (HIPERLAN) Type 1; Functional Specification", EN 300 652, V1.2.1 (1998-07).
- [75] ETSI: "Broadband Radio Access Networks (BRAN): High Performance Radio Local Area Network (HIPERLAN) Type 2; Requirements and architectures for wireless broadband access", TR 101 031, V2.2.1 (1999-01).
- [76] Fankhauser, G.; Kassler, A.; Köchling, C.; Kortelainen, P.; Kreula, R.; Lupper, A.; Mann Pelz, R.; Mark, T.; Monni, E.; Ranta, R.; Sidler, G.: "Mobile Wideband Terminal Applications", *Magic WAND – ACTS Project AC085, WP 6, CEC Deliverable 1D2, September 30, 1996.*
- [77] Farkouh, S. C.: "Managing ATM-based Broadband Networks", *IEEE Communications Magazine, May 1993*, pp. 83-86.
- [78] Fernandes, L.: "Developing a System Concept and Technologies for Mobile Broadband Communications", *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 2, no. 1, February 1995.
- [79] Fernandes, L.: "R2067 – MBS, A System Concept and Technologies for Mobile Broadband Communications", *Proceedings RACE Mobile Communications Summit*, Cascais, Portugal, 22-25. Nov.1995, pp. 62-72.
- [80] Fernandes, C.; Filipe, M.; Anunciada, L.: "Lens antennas for the SAMBA mobile terminal", *Proceedings of the ACTS Mobile Communications Summit 97*, Aalborg, Denmark, October 7-10, 1997.
- [81] Festag, A.; Westerhof, L.; Assimakopoulos, A.; Wolisz, A.: "Rerouting for Handover in Mobile Networks with Connection-Oriented backbones -- An Experimental Testbed", *Proc. of ICATM'2000.*
- [82] Fleury, B.; Leuthold, P.: "Radiowave propagation in mobile communications: an overview of european research", *IEEE Communications Magazine*, vol. 34, no. 2, February 1996, pp. 70-81.
- [83] Fleury, B.; Bernhard, U.; Heddergott, R.: "Advanced radio channel model for Magic WAND", *Proceedings ACTS Mobile Communications Summit*, November 27-29, 1996, Granada, Spain, pp.762-771.
- [84] Fritchman, B. D.: "A Binary Channel Characterization using Partitioned Markov Chains", *IEEE Transactions on Inf. Theory*, vol. IT-13, no. 2, April 1967, pp. 221-227.
- [85] Furuya, N.; Mizukawa, T.; Munakata, K.; Sato, A.; Ohkubo, F.; Takahashi, N.; Watanabe, H.; Wakao, M.; Saito, T.: "Field and laboratory measurement for 25 Mbps multimedia mobile communications in 20 GHz band", *Conference Proceedings European Personal Mobile Communications Conference EPMCC'97, ITG-Fachbericht 145*, Bonn, 30. Sept. – 2. Okt. 1997. Berlin, Offenbach: VDE-Verlag GmbH, 1997, pp. 189-194.
- [86] Furuslär, A.; Näslund, J.; Olofsson, H.: "EDGE – Enhanced data rates for GSM and TDMA/136 evolution", *Ericsson Review*, no. 1, 1999.
- [87] Garcia, A-B.; Alvarez-Campana, M.; Vasquez, E., Berrocal, J.: "Quality of Service Support in the UMTS Terrestrial Radio Acces Network", Departamento de Ingenieria de Sistemas Telematicos, Universidad Politecnica de Madrid, 2002.
- [88] Gilbert, E. N.: "Capacity of a Burst Noise Channel", *Bell Syst. Techn. Journal*, vol. 39, 1960, pp.1253-1266.

- [89] GSM Association, <http://www.gsmworld.com>.
- [90] Gueroui, A.; Gaiti, D.: "Multi-Service Rerouting Algorithm in wireless ATM", IEEE 2002
- [91] Hammerschmidt, J. S.; Hutter, A. A.; Vögel, H.-J.; Drewes, C.; Hasholzner, R.: "An Integrated Test-bed Using Generative Markov Chain Channel Models", Proceedings ACTS Mobile Summit, Aalborg, Oct. 7-10, 1997.
- [92] Hansén, H.; Hadjiefthymiades, S.; Immonen, J.; Kaloxylos, A.: "Description of the handover algorithm for the Wireless ATM Network Demonstrator (WAND)", *Proceedings of the ACTS Mobile Summit '96*, Granada, Spain, November 27-29, 1996, pp. 543-548.
- [93] Hartmann, Ch.; Vögel, H.-J.: "Teletraffic Analysis of SDMA Systems with inhomogeneous MS location distribution and mobility", in: *Wireless Personal Communications Magazine*, Baltzer, 1998.
- [94] Hasholzner, R.; Drewes, C.; Hammerschmidt, J.S.: "Frequency Domain Differentially Encoded QPSK for OFDMA Broadband Radio in the Local Loop", *Proc. 6th European Conference on Fixed Radio Systems and Networks (ECRR) 1998*, Bergen, Norway, June 1998, pp. 293 – 298.
- [95] Heddergott, R.; Bernhard, U.; Fleury, B.: "Stochastic radio channel model for advanced indoor mobile communication systems", *Proceedings PIMRC 97*, September 1997, Helsinki, Finland, vol. 1, pp. 140-144.
- [96] Hettich, A.; Keller, R.: "Status of the Wireless ATM Standardization at ETSI and ATM Forum", *Proc. of MTT-S Wireless'98 Symposium*, Amsterdam, Netherlands, October 1998.
- [97] Honcharenko, W.; Kruys, J. P.; Lee, D. Y.; Shah, N. J.: "Broadband Wireless Access", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 1, Januar 1997, pp. 20-26.
- [98] Hu, J.: "Applying IP over wMATM Technology to Third-Generation Wireless Communications", *IEEE Communications Magazine*, vol. 37, no. 11, November 1999, pp. 64-67.
- [99] Hunziker, T.; Bernhard, U.P.: "Evaluation of Coding and Modulation Schemes based on Golay Complementary Sequences for Efficient OFDM Transmission", *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference VTC98*, 1998.
- [100] Hutchison, D.J.; Pacifici, G.; Plattner, B.; Stadler, R.; Sventek, J. (Guest Eds.): "Service enabling platforms for networked multimedia systems", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 17, no. 9, September 1999.
- [101] Immonen, J.; Lunn, A.; Lemiläinen, J.; Kühnel, T.: "Performance of the mobility enhanced ATM signalling stack in the WAND demonstrator", *Proceedings of the ACTS summit 98*, Rhodes, Greece, June 8-11, 1998.
- [102] Immonen, J.: "Signaling Stack Design for Wireless ATM Access Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 37, no. 11, November 1999, pp. 58-63.
- [103] Iraqi, Y.; Boutaba, R.; Leon-Garcia, A.: "QoS control in wireless ATM", *Mobile Networks and Applications 5 (2000)*, pp. 137-145.
- [104] Isnard, O.; Calmel, J. M.; Beylot, A. L.; Pujolle, G.: "Handling Traffic Classes at AAL2 / ATM layer over the Logical Interfaces of the UMTS Terrestrial Access Network", *11<sup>th</sup> IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication, Vol. 2*, London, September 2002, pp 1461-1468.
- [105] ISO/IEC 13818-3: Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information – Part 3: Audio.
- [106] ISO/IEC 802-11:1999 (IEEE Standard 802.11, 1999 Edition): Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.

- [107] IEEE 802.11a-1999: Supplement to Information technology--Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: High Speed Physical Layer (PHY) in the 5 GHz band.
- [108] IEEE 802.11b-1999: Supplement to Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Higher Speed Physical Layer (PHY) Extension in the 2.4 GHz band.
- [109] Iselt, A.: “Ausfallsicherheit und unterbrechungsfreies Ersatzschalten in Kommunikationsnetzen mit Redundanzdomänen”, Teza de doctorat, Technische Universität München, 1999.
- [110] ITU-T Rec. E.164, International public telecommunication numbering plan, Geneva, May 1997.
- [111] ITU-T Rec. E.191, B-ISDN numbering and addressing, Geneva, June 1992.
- [112] ITU-T Rec. I.113, Integrated Services Digital Network, General Structure – Vocabulary of Term for Broadband Aspects of ISDN, Geneva, November 1993.
- [113] ITU-T Rec. I.311, B-ISDN General Network Aspects, Geneva, March 1993.
- [114] ITU-T Rec. I.361, B-ISDN ATM layer specification, Geneva, June 1992.
- [115] ITU-T Rec. I.610, B-ISDN Operations and Maintenance Principles and Functions, Geneva, June 1992.
- [116] ITU-T Rec. Q.2931, ATM Network Signalling Specification, Broadband Integrated Services Digital Network (B-ISDN) – Digital Subscriber Signalling System no. 2 (DSS 2) – User-Network Interface (UNI) – Layer 3 specification for basic call/connection control, Geneva, June 1992.
- [117] Jain, R.; Babic, G.: “Performance Testing Effort at the ATM Forum: An Overview”, *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no.8, August 1997, pp. 110-116.
- [118] Jenkins, G.: “GSM White Paper: Brilliant Past, bright future”, *Deutsche Bank, Global Telecommunications*, February 2004.
- [119] Jiang, F.; Käkölä, T.: “Microcellular Handover in Wireless ATM”, *Proceedings of the 32<sup>nd</sup> Hawaii International conference on System Sciences*, 1999.
- [120] Johr, H.; Vögel, H.-J.; Grom, A.: “Messung und verbesserte Markov-Modellierung des transparenten GSM-Datendienstes”, Konferenzband zur itg-Fachtagung Mobile Kommunikation, 26.-28.9.1995 in Neu-Ulm, itg-Fachbericht 135, S. 279-287. Berlin, Offenbach: vde-Verlag, 1995.
- [121] Kadel, G.; Kauschke, U.: “HIPERLAN 2 – a future ETSI standard for broadband wireless local access at 5 GHz”, *Proceedings ITG-Workshop Wellenausbreitung bei Funksystemen und Mikrowellensystemen*, DLR, Oberpfaffenhofen, 11.-13. Mai 1998.
- [122] Kadel et.al.: “Messungen im 5 GHz-Band für das ATMmobil-Projekt” , Deutsche Telekom AG, Technologiezentrum Darmstadt, Oktober 1999.
- [123] Kaloxylou, A.; Hansen, H.; Mekaros, L.: „Mobility Management for Large Private Wireless ATM Installations“, University of Athens, Greece, 1999.
- [124] Karol, M.J.; Veeraraghavan, M.; Eng, K.Y.: “Implementation and Analysis of Handoff Procedures in a Wireless ATM LAN”, *GLOBECOM '96, Conference Proceedings*, IEEE, 1996, S. 216-223.
- [125] Karol, M.J.; Liu, Zhao; Eng, K.Y.: “Distributed-Queueing Request Update Multiple Access (DQRUMA) for Wireless Packet (ATM) Networks”, *ICC 95, Conference Proceedings*, IEEE, 1995, S. 1224-1231.

- [126] Kassler, A.; Lupper, A.; Sun, D.: "A QoS Aware Audio/Video Communication Subsystem for Wireless ATM Networks", *Proceedings of the ACTS Summit 98*, Rhodes, Greece, June 8-11, 1998.
- [127] Kassler, A.; Schulthess, P.: "An End-to-End Quality of Service Management Architecture for Wireless ATM Networks", *Proceedings of the HICCS-32*, Maui, Hawaii, USA, January 1999.
- [128] Keeton, K.; Mah, B. A.; Seshan, S.; Katz, R. H.; Ferrari, D.: "Providing Connection-Oriented Network Services to Mobile Hosts", *Proceedings of the USENIX Symposium on Mobile and Location-independent Computing*, Cambridge, Massachusetts, August 1993.
- [129] Keil, K.; Bakker, H.; Schödl, W.; Litzemberger, M.: "Signalling for Handover in a Broadband Cellular ATM System". In: Kühn, P.; Ulrich, R. (Hrsg.): "Broadband Communications – The future of telecommunications", *Proceedings of BC'98 IFIP TC 6 / WG6.2 Fourth International Conference on Broadband Communications, April 1-3 1998, Stuttgart, Germany*. London, Weinheim,...: Chapman&Hall, 1998, S. 145-156.
- [130] Keller, R.; Walke, B.; Fettweis, G.; Bostelmann, G.; Möhrmann, K. H.; Herrmann, Ch.; Kraemer, R.: "Wireless ATM for Broadband Multimedia Wireless Access: The ATMmobil Project", *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 6, no. 5, October 1999, pp. 66-80.
- [131] Kellerer, W.; Vögel, H-J.; Steinberg, K-E.: „A Communication Gateway for Infrastructure-Independent 4G Wireless Access“, *IEEE Communications Magazine*, March 2002
- [132] Kim, Y. C.; Lee, D. E.; Lee, B. J.; Kim, Y. S.; Mukherjee, B.: "Dynamic Channel Reservation Based on Mobility in Wireless ATM Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 37, no. 11, November 1999, pp. 47-51.
- [133] Kourtis, A.; Mantakas, C.; Pallis, V.: "Broadband interactive services and digital television at 42 GHz", *International Journal of Communication Systems*, vol. 12. Wiley, 1999, pp. 11-22.
- [134] Krämling, A.; Scheibenbogen, M.: "Influence of dynamic channel allocation on the transmission delay in wireless ATM networks", *International Conference on Universal Personal Communications (ICUPC'98)*, Florence, Italy, October 1998, pp. 169-173.
- [135] Krieger, U.R.; Savoric, M.: "Performance evaluation of handover protocols for data communication in a wireless ATM network", *Proceedings ITC16*, Edinburgh, June 7-11, 1999.
- [136] Krunz, M.; Kim, J. G.: „Fluid Analysis of Delay and Packet Discard Performance for QoS Support in Wireless Networks“, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2000.
- [137] Kubbar, O.; Mouftah, H. T.: "Multiple Access Control Protocols for Wireless ATM: Problem Definition and Design Objectives", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 11, November 1997, pp. 93-99.
- [138] Lagrange, X.: "Multitier Cell Design", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no.8, August 1997, pp. 60-64.
- [139] Levine, D.A.; Akyildiz, I.F.; Naghshineh, M.: "The Shadow Cluster Concept for Ressource Allocation and Call Admission in ATM-Based Wireless Networks", *Proceedings, ACM Mobicom 1995*, pp. 142-150, Berkeley, California, November 1995.
- [140] Li, J.; Yuan, R.: "Handoff Control in Wireless ATM Networks: An Experimental Study", *Proceedings of ICUPC'96, 5th IEEE International Conference on Universal Personal Communication*, 29.9. – 3.10. 1996, Cambridge, Massachusetts, USA.
- [141] Lin, Y-B.; Chlamtac, I.: "Wireless and Mobile Network Architectures", John Wiley & Sons, 2000
- [142] Lindberger, K.: "Analytical Methods for the Traffical Problems with Statistical Multiplexing in ATM-Networks", *Teletraffic and Datatraffic in a Period of Change, ITC-13*. North-Holland, 1991: Elsevier Science Publishers.



- [143] Lindberger, K.: "Dimensioning and Design Methods for Integrated ATM Networks", In: Labetoulle; Roberts (Hrsg.): *ITC-14*. North-Holland, 1994: Elsevier Science Publishers.
- [144] Liu, T.; Bahl, P.; Chlamtac, I.: "Mobility Modeling, Location Tracking, and Trajectory Prediction in Wireless ATM Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 6, August 1998, pp. 922-936.
- [145] Lo, C. N.; Wolff, R. S.; Bernhardt, R. C.: "An estimate of network database transaction volume to support personal communications services", *Proceedings of IEEE ComSoc 1st International Conference on Universal Personal Communication*, ICUPC92, Dallas, September 29 – October 2, 1992, pp. 236-241.
- [146] Lo, C. N.; Wolff, R. S.; Bernhardt, R. C.: "An estimate of network database transaction volume to support voice and data personal communications services", *Proceedings 8th ITC Specialist Seminar on Universal Personal Communication*, Santa Margherita Ligure, Italien, October 12–14, 1992, pp. 293-311.
- [147] Magic WAND – ACTS Project AC085 Annual Project Report, Part A, Section 2, Supporting Information. Document Reference 8NMR035a.doc, 21. Feb. 1996.
- [148] May, A.D.: "Traffic Flow Fundamentals", Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1990.
- [149] Marsan, M.A.; Chiasserini, C.-F.; Lo Cigno, R.; Munafò, M.: "Local and Global Handovers for Mobility Management in Wireless ATM Networks", *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 4, no. 5, October 1997, pp. 16-24.
- [150] McDysan, D. E.; Spohn, D. L.: "ATM – theory and application". New York, San Francisco, Washington,....: McGraw-Hill, 1994.
- [151] McKie, S.: "Outsourcing with ASPs in the Internet Age", *Business Finance*, November 1999, p. 61.
- [152] McTiffin, M.J.; Hulbert, A.P.; Ketseoglou, T.J.; Heimsch, W.; Crisp, G.: "Mobile Access to an ATM Network Using a CDMA Air Interface", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 12, no. 5, June 1994.
- [153] Mehlhorn, K.; Näher, S.: "LEDA – a platform for combinatorial and geometric computing". Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- [154] Meierhofer, J.; Paskalis, S.; Passas, N.; Vali, D.: "Wireless ATM MAC performance results", ACTS Project AC085 The Magic WAND, Deliverable AC085/UOA/CNL/DS/P/026/b1, December 1997.
- [155] Meierhofer, J.; Bernhard, U.P.; Hunziker, T.: "Finite State Radio Channel Model for Indoor Wireless ATM Networks", *Proceedings of IEEE ICT'98, June 1998, Chalkidiki, Greece*.
- [156] Meierhofer, J.: "Data Link Control for Indoor Wireless ATM Networks", *Proceedings of Wireless 98, July 1998, Calgary, Canada*, pp. 517-525.
- [157] Mikkonen, J.; Corrado, C.; Evcı, C.; Prögler, M.: "Emerging Wireless Broadband Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 36, no. 2, February 1998, pp. 112-117.
- [158] Mikkonen, J.; Aldis, J.; Awater, G.; Lunn, A.; Hutchison, D.: "The Magic WAND – Functional Overview", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 6, August 1998, pp. 953-972.
- [159] Minoli, D.; Golway, T.: "Planning & Managing ATM Networks". Greenwich: Manning, 1996.
- [160] Mitts, H.; Hansén, H.; Immonen, J.; Veikkolainen, S.: "Lossless handover for wireless ATM", *MONET – Mobile Networks and Applications Volume 1 (1996)*, no. 3, pp. 299-312.
- [161] Mitts, H.; Hansén, H.; Immonen, J.: "Lossless handover for wireless ATM", *Proceedings of Mobicom '96*, New York, U.S., November 1996, pp. 85-96.

- [162] Moise, M.: "Concept of a Virtual Connection handover for Wireless ATM networks", *Proceedings of the 5th International Conference on Renewable Sources and Environmental Electro-Technologies (RSEE 2004)*, pp. 38-42.
- [163] Moise, M.: "Mobility concept for Wireless ATM networks", *Buletinul Stiintific al Universitatii "POLITEHNICA" din Timisoara, Transactions on Electronics and Telecommunications, Tom 49(63), Fascicola 2, 2004*, pp. 409-414.
- [164] Moise, M.: "Lossless handover scheme for Mobile ATM networks", *Buletinul Stiintific al Universitatii "POLITEHNICA" din Timisoara, Transactions on Electronics and Telecommunications, Tom 49(63), Fascicola 2, 2004*, pp. 415-420.
- [165] Moise, M.; Stossno, A.; Kirmaier, A.: "Detailed Design for Mobile Number Portability Implementation", *o2 (Germany) GmbH & Co. OHG*, Internal document, 2001.
- [166] Moise, M.; Woolley, M.; Kirmaier, A.: "Detailed Design for Multicard Service", *o2 (Germany) GmbH & Co. OHG*, Internal document, 2003.
- [167] Moise, M.: "Backup Concept for Nortel DMS 100 MSC and HLR", *o2 (Germany) GmbH & Co. OHG*, Internal document, 2002.
- [168] Moise, M.; Hayes, N.: "Detailed Design for IMEI Tracking Server", *o2 (Germany) GmbH & Co. OHG*, Internal document, 2004.
- [169] Moise, M.; Limmer, R.: "Verkehrsauslastungsanalyse und Optimierung des CCS7-Netzes", *o2 (Germany) GmbH & Co. OHG*, Internal document, 2003.
- [170] Muresan, T.; Gontean, A.; Babaita, M.; Demian, P.: "Circuite integrate numerice: aplicatii si proiectare", Timisoara, Editura de Vest, 2000.
- [171] Naornita, M.; Lupea, E.; Bianu, M.; Oltean, M.; Salagean, M.: "BER Performance of Frequency Selective Channels with Cyclic Prefix Base Equalisers", *Scientific Bulletin of the "Politehnica" University, Timisoara, 2002, Tom 47 (6)*, pp. 143-150.
- [172] Naornita M.; Lupea, E.; Naornita, C.: "Capacity of Frequency Selective Channels. Part I&II", *Proceedings of International Workshop "Trends and Recent Achievements in Information Technology"*, May 16-18, 2002, Cluj-Napoca.
- [173] Naornita M.; Lupea, E.; Oltean, M.: "Channels equalization based on cyclic prefix", *Proceedings of the 4'th International Conference RSEE'2002*, Oradea, Romania.
- [174] Naornita M.; Harasis, H.; Caius, M. C.: "The multicast routing. Routing algorithms", *Analele Universitatii Oradea 1998, Fascicula Electrotehnica*, sectiunea B, pp 128-135.
- [175] Naornita M.; Harasis, H.; Mihailovici, M.: "INTRANET routing algorithms", *Analele Universitatii Oradea 1998, Fascicula Electrotehnica*, sectiunea B, pp 136-145.
- [176] Naornita M.; Harasis, H.; Gadau, F.: "Flow control through scheming control", *Analele Universitatii Oradea 1998, Fascicula Electrotehnica*, sectiunea B, pp 120-127.
- [177] Naornita M.; Harasis, H.; Munteanu, V.: "Mecanisme de control al fluxului in retele de transmisii de date", *Analele Universitatii din Oradea, 1997, fascicola Electrotehnica*, pag. 176-181.
- [178] Naornita M.; Harasis, H.; Ivan, A.: "Algoritmi de cost minim orientati pe flux", *Analele Universitatii din Oradea, 1997, fascicola Electrotehnica*, pag. 182-187.
- [179] Naornita M.; Harasis, H.; Tomai, N.: "Protocoale de dirijare in interetele", *Buletin Stiintific al UPB, Tom 42 (56) fascicola 1, 1997* pag. 111-118.
- [180] Naornita M.; Pop, O.; Szekely, S.: "Realizarea unei transmisii sigure de banda larga in retele ATM", *Bul. Stiintific al Universitatii "Politehnica" Timisoara, Tom 42 (56) fascicola 2, 1997*.

- [181] Naghshineh, M.; Willebeek-LeMair, M.: "End-to-End QoS Provisioning in Multimedia Wireless/Mobile Networks Using an Adaptive Framework", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 11, November 1997, pp. 72-81.
- [182] Nagy, Andrea: "Vergleichende Untersuchung und Simulation von verlustfreien Handoververfahren für Mobiles ATM", Lucrare de diploma, Catedra de retele de comunicatii, TU München, 1998.
- [183] Nanda, S.: "Teletraffic Models for urban and suburban microcells: cell sizes and handoff rates", *Proceedings 8th ITC Specialist Seminar on Universal Personal Communication*, Santa Margherita Ligure, Italien, October 12 – 14, 1992, pp. 251-260.
- [184] Nakamura, H.; Tsuboya, H.; Nakano, M.; Nakajima, A.: "Applying ATM to Mobile Infrastructure Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 36, no. 1, January 1998, pp. 66-73.
- [185] Naylor, J.; Gilmurray, D.; Porter, J.; Hopper, A.: "Low-Latency Handover in a Wireless ATM LAN", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 16, no. 6, August 1998, pp.909-921.
- [186] Nettleton, R. W.; Schloemer, G. R.: "Self Organizing Channel Assignment for Wireless Systems", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no.8, August 1997, pp. 46-51.
- [187] Ngoh, L.-H.; Li, H.; Wang, W.: "An Integrated Multicast Connection Management Solution for Wired and Wireless ATM Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 11, November 1997, pp. 52-59.
- [188] Niehaus, D.; Battou, A.; MacFarland, A.; Decina, B.; Dardy, H.; Sirkay, V.; Edwards, B.: "Performance Benchmarking of Signalling in ATM Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no.8, August 1997, pp. 134-143.
- [189] Niemi, M.; Kruys, J.: "Wireless ATM Standardization", *Proceedings of the ACTS Mobile Summit '96*, Granada, Spain, November 1996, pp. 250-255.
- [190] Nishio, M; Shinagawa, N.; Kobayashi, T.: "A Lossless Handover Method for Video Transmission in Mobile ATM Networks and Its Subjective Quality Assessment", *IEEE Communications Magazine*, vol. 37, no. 11, November 1999, pp. 38-44.
- [191] Nokia Special: "Von der Infrastruktur bis zur Anwendung", *ntz*, 5/2000, pp.36-41.
- [192] Onvural, R.; Cherukuri, R.: "Signaling in ATM Networks". Boston, London: Artech House, 1997.
- [193] Ovum: "The Bandwidth Explosion", August 1999.
- [194] Pahlavi, K.; Zahedi, A.; Krishnamurthy, P.: "Wideband Local Access: Wireless LAN and Wireless ATM", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 11, November 1997, pp. 34-40.
- [195] Park, S.; Lee, S.; Song, Y.-J.; Cho, D.-H.; Dhong, Y.-B.: "Performance improvements of forward handover based on path rerouting and extension in wireless ATM", *IEICE Transactions on Communications*, Vo. E82-B, No. 9, September 1999, pp. 1485-1495.
- [196] Passas, N.; Paskalis, S.; Vali, D.; Merakos, L.: "Quality-of-Service-Oriented Medium Access Control for Wireless ATM Networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 11, November 1997, pp. 42-50.
- [197] Pavlidis, I.E.; Marias, I.F.; Pronios, N.B.: "Managing a Wireless ATM Network", *ACTS Mobile Communications Summit*, November 27-29, 1996, Granada, Spain.
- [198] Petras, D.; Krämling, A.; Hettich, A.: "Design Principles for a MAC Protocol of an ATM Air Interface", *ACTS Mobile Communications Summit*, November 27-29, 1996, Granada, Spain.



- [199] Petras, D.: "Air Interface of an ATM Radio Access Network". In: Kühn, P.; Ulrich, R. (Hrsg.): "Broadband Communications – The future of telecommunications", *Proceedings of BC'98 IFIP TC 6 / WG6.2 Fourth International Conference on Broadband Communications, April 1-3 1998, Stuttgart, Germany*. London, Weinheim,...: Chapman&Hall, 1998, S. 133-144.
- [200] Plassmann, D.; Kadelka, A.: "Network Handover for Wireless ATM Systems", *ACTS Mobile Communications Summit*, November 27-29, 1996, Granada, Spain.
- [201] Pollini, G. P.; I, Ch.-L.: "A profile-based location strategy and its performance", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol 15, no. 8, October 1997, pp. 1415-1424.
- [202] Ponce, B.: "The impact of MP3 and the future of digital entertainment products", *IEEE Communications Magazine*, vol. 37, no. 9, September 1999, pp. 68-70.
- [203] Porter, J.; Hopper, A.: "An ATM based protocol for Wireless LANs", ORL Techn. Report 94.2, Olivetti Research Ltd./University of Cambridge Computer Laboratory, England, April 19, 1994.
- [204] Porter, J.; Hopper, A.; Gilmurray, D.; Mason, O.; Naylor, J.; Jones, A.: "The ORL Radio ATM System, Architecture and Implementation", ORL Techn. Report 96.5, Olivetti and Oracle Research Laboratory / University of Cambridge Computer Laboratory, England, January 16, 1996.
- [205] Prögler, M.; Evci, C.; Umehira, M.: "Air Interface Access Schemes for Broadband Mobile Systems", *IEEE Communications Magazine*, vol 37, no. 9, September 1999, pp. 106-115.
- [206] Prycker, M. de: "Asynchronous Transfer Mode", New York: Prentice Hall, 1993.
- [207] Ramjee, R.; La Porta, T. F.; Kurose, J.; Towsley, D.: "Performance Evaluation of Connection Rerouting Schemes for ATM-Based Wireless Networks", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 6, no. 3, June 1998, pp. 239-261.
- [208] Ray, S.: "Network Segment Mobility in ATM Networks", *IEEE Communicatios Magazine*, vol. 37, no. 3, March 1999, pp. 38-45.
- [209] Raychaudhuri, D.: "Wireless ATM Networks: Architecture, System Design and Prototyping", *IEEE Personal Communications Magazine*, August 1996.
- [210] Raychaudhuri, D.; Wilson, N. D.: "ATM-Based Transport Architecture for Multiservices Wireless Personal Communication Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 12, no. 8, October 1994.
- [211] Regulierungsbehörde für Post und Telekommunikation: "Verfahren zur Vergabe von Frequenzen für die Funkanbindung von Teilnehmeranschlüssen als Punkt-zu-Mehrpunkt-Richtfunk (WLL-PMP-Rifu)", *Entscheidung der Präsidentenkammer*, 3. Juni 1998.
- [212] Regulierungsbehörde für Post und Telekommunikation: "Eröffnung der Ausschreibungsverfahren zur Vergabe von Frequenzen im Bereich 3410 MHz bis 3580 MHz und im 26-GHz-Bereich für die Funkanbindung von Teilnehmeranschlüssen als Punkt-zu-Mehrpunkt-Richtfunk (WLL-PMP-Rifu)", *Entscheidung der Präsidentenkammer*, 25. März 1999.
- [213] Reiningger, D.; Izmailov, R.; Rajagopalan, B.; Ott, M.; Raychaudhuri, D.: "Soft QoS Control in the WATMnet Broadband Wireless System", *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 6, no. 1, February 1999, pp. 34-43.
- [214] Schenk, G.: "Transport of Voice over ATM with Adaptation Layer 2", *ATM User Conference*, Stuttgart 2001
- [215] Seydim, Ayse Yasemin: "Wireless ATM (WATM), an Overview", Southern Methodist University, EE 8304 Spring 2000
- [216] Sfikas, G.; Apostolas, C.; Tafazolli, R.: "The U.K. LINK-PCP Approach to the Wireless ATM System", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 11, November 1997, pp. 60-70.

- [217] Siebenhaar, R.: "Verkehrslenkung und Kapazitätsanpassung in ATM-Netzen mit virtuellen Pfaden", Teza de doctorat, Technische Universität München, 1996.
- [218] Simoens, S.; Pellati, P.; Gosteau, J.; Gosse, K.; Ware, C.: "The Evolution of 5 GHz WLAN toward Higher Throughputs", *IEEE Wireless Communications*, December 2003, pp. 2-10
- [219] Spielvogel, J. A.: "Providing Resilience in Optical Transport Networks", *Keynote speech 2nd International Workshop on the Design of Reliable Communication Networks DRCN2000*, Munich, Germany, 9.-13.4.2000.
- [220] Staehle, D.; Leibniz, K.; Tran-Gia, P.; „Source Traffic Modeling of Wireless Applications“, *International Journal of electronics and Communications*, Vol. 55, Issue 1, 2001
- [221] Steele, R.: "Personal Communication Networks", *Tutorium A, IEEE 1994 International Zurich Seminar on Digital Communications, Mobile Communications – Advanced Services, Systems and Components*, Zürich, 8.-11. März 1994.
- [222] Steffan, R.: "Adaptive Generative Radio Channel Models", *Proceedings IEEE Personal Indoor Mobile Radio Conference PIMRC'94*, Den Haag, September 1994, pp. 268-273.
- [223] Sui, S. Y.; Yeung, K. H.: „Challenges in the Migration to 4G Mobile Systems“, *IEEE Communications Magazine*, December 2003, pp. 54-59.
- [224] Tabbane, S.: "Location Management Methods for Third-Generation Mobile Systems", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no.8, August 1997, pp. 72-84.
- [225] Takabe, Y.; et. al.: "Multimedia Mobile Access Communication (MMAC) study committee summary report", *Proceedings MDMC'96*, July 1996, pp. 720-724.
- [226] Taylor, L.; Titmuss, R.; Lebre, C.: "The Challenges of seamless handover in future mobile multimedia networks", *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 6, no. 2, April 1999, pp. 32-37.
- [227] The 3rd Generation Partnership Project, <http://www.3gpp.org>.
- [228] Toh, C.-K.: "The design and implementation of a hybrid handover protocol for multimedia wireless LANs", *Proceedings MOBICOM'95*, Berkeley, Nov. 13-15, 1995.
- [229] Toh, C.-K.: "Crossover switch discovery for wireless ATM LANs", *MONET – Mobile Networks and Applications Volume 1 (1996)*, no. 2, pp. 141-165.
- [230] Toh, C.-K.: "A hybrid handover protocol for local area wireless ATM networks", *MONET – Mobile Networks and Applications Volume 1 (1996)*, no. 3, pp. 313-334.
- [231] Tolonen, M.; Araki, M.: "AWACS project field trial platform", *ACTS Mobile Summit '97*, Aalborg, Denmark, October 7-10, 1997, pp. 369-373.
- [232] Tolonen, M.; Araki, M.: "AWACS 19 GHz Wireless ATM field trial results", *ACTS Mobile Summit '98*, Rhodes, Greece, June 8-11, 1998, pp. 536-442.
- [233] Trautwein, U.; Blau, K.; Brückner, D.; Herrmann, F.; Richter, A.; Sommerkorn, G.; Thomä, R.: "Radio Channel Measurement for Realistic Simulation of Adaptive Antenna Arrays". *Proceedings of the 1998 Int'l Zurich Seminar on Broadband Communications*, Zurich, Switzerland, Feb. 1998.
- [234] Umehira, M.; Nakura, M.; Sato, H.; Hashimoto, A.: "ATM Wireless Access for Mobile Multimedia: Concept and Architecture", *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 3, no. 5, October 1996, pp. 39-48.
- [235] UMTS Forum, <http://www.umts-forum.org>
- [236] Urie, A.; Streeton, M.; Mourot, C.: "An Advanced TDMA Mobile Access System for UMTS", *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 2, no. 1, February 1995.

- [237] Veeraraghavan, M.; La Porta, Th. F.; Ramjee, R.: "A Distributed Control Strategy For Wireless ATM Networks", *ICC 95, Conference Proceedings*, IEEE, 1995, S. 750-755.
- [238] Veitch, P.; Hawker, I.; Smith, G.: "Administration of restorable Virtual Path mesh networks", *IEEE Communications Magazine*, December 1996, pp. 96-101.
- [239] Vögel, J.-G.: "Verbindungsnachführung und verlustfreier Handover in ATM-Netzen mit mobilen Teilnehmer", Teza de doctorat, Technische Universität München, 2000.
- [240] Vögel, H.-J.: "Simulative Dienstgüteuntersuchung von ISO TP4 auf digitalen Mobilfunkkanälen", *Proceedings 8. Aachener Kolloquium Signaltheorie: Mobile Kommunikationssysteme*, RWTH Aachen, 23.-25.3.1994. P. Vary (Hrsg.) – Berlin, Offenbach: vde-Verlag, 1994.
- [241] Vögel, H.-J.: "Handover switching in mobile ATM networks", *Conference Proceedings European Personal Mobile Communications Conference EPMCC'97*, Bonn, 30. Sept. – 2. Okt. 1997. ITG-Fachbericht 145, Berlin, Offenbach: VDE-Verlag, 1997, S. 375-381.
- [242] Vögel, H.-J.: "A networking concept for wide area mobility and fast handover in ATM networks", *Proceedings IEEE Globecom'97*, Phoenix, 3.-8. November 1997. IEEE, 1997, S. 1124-1128.
- [243] Vögel, H.-J.: "Virtual Connection Handover in ATM-based cellular networks", in: *Proceedings NOC'98 European Conference on Networks and Optical Communications*, Manchester, England, 23.-25. Juni 1998. Broadband Access and Network Management, D. Faulkner et.al. (ed.), Amsterdam: IOS Press, 1998, pp. 298-395.
- [244] Vögel, H.-J.; Kellerer, W.; Karg, S.; Kober, M.; Beckert, A.; Einfalt, G.: "SDL-based prototyping of ISDN-DECT-PBX switching software", *Proceedings SAM98, The 1st workshop of the SDL Forum Society on SDL and MSC*, Berlin, Germany, June 29 – July 1, 1998.
- [245] Vögel, H.-J.: "Robust and Soft: handover design for high-tier Mobile ATM systems", *Wireless'99, Conference Proceedings*, Munich, October 6-8, 1999. B. Walke (Hrsg.), ITG-Fachbericht 157, Berlin: VDE-Verlag, 1999, pp. 333-338.
- [246] Vögel, H.-J.; Kellerer, W.; Steinberg, K.-E.: "Heterogeneity and Convergence: UMTSplus communication service architecture in an automobile", *WMCSA2000, 3rd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*.
- [247] Vornefeld, U.; Walke, Ch.; Walke, B.: "SDMA Techniques for Wireless ATM", *IEEE Communications Magazine*, vol. 37, no. 11, November 1999, pp. 52-57.
- [248] Walke, B.: "Traffic Problems in Mobile Radio Networks", *AEÜ*, vol. 47, no. 5/6, 1993, pp. 445-455.
- [249] Walke, B.: "Mobile Radio Networks – Networking and Protocols". Chichester: John Wiley & Sons, 1999.
- [250] Walke, B.; Petras, D.; Plassmann, D.: "Wireless ATM: Air Interface and Network Protocols of the Mobile Broadband System", *IEEE Personal Communications Magazine*, August 1996.
- [251] Walke, B.: "Breitbandige Mobilkommunikation für Multimedia auf ATM-Basis", *ntz*, 8/1998. VDE-Verlag, 1998, S. 58-61.
- [252] WAP-Forum: "Official Wireless Application Protocol: The Complete Standard", Chichester: John Wiley & Sons, 1999.
- [253] Werner, M.: "ATM Concepts for Satellite Personal Communication Networks", *Proceedings NOC '96, European Conference on Networks and Optical Communications*, June 25-28, 1996, Heidelberg, Germany.
- [254] Werner, M.; Delucchi, C.; Vögel, H.-J.; Maral, G.; De Ridder, J.J.: "ATM-based Routing in LEO/MEO Satellite Networks with Intersatellite Links", *IEEE JSAC special issue "Mobile ATM"*, Volume 15, no. 2, January 1997, pp. 69-82

- [255] Yonggang, D.; Herrmann, Ch.; May, K. P.; Hulyalkar, S. N.; Evans, D.: "Wireless ATM LAN With and Without Infrastructure", *IEEE Communications Magazine*, vol. 36, no. 4, April 1998, pp. 90-95.
- [256] Yoon, C.: "Mobile multimedia communications", *Proceedings MDMC'96*, July 1996, pp. 716-719.
- [257] Younger, E.J.; Bennett, K.H.; Hartley-Davies, R.: "A model for a broadband cellular wireless network for digital communications", *Computer Networks and ISDN Systems 26 (1993)*, pp. 391-402.
- [258] Yu, O.T.W.; Leung, V.C.M.: "Extending B-ISDN to support user terminal mobility over an ATM-based Personal Communication network", *Globecom'95, Conference Proceedings*, IEEE, Singapore, 13-17 November 1995, pp. 2289-2293.
- [259] Yu, Oliver T.W.; Leung, Victor C.M.: "Connection architecture and protocols to support efficient handoffs over an ATM / B-ISDN personal communications network", *MONET – Mobile Networks and Applications Volume 1 (1996), no. 2*, pp. 123-139.
- [260] Yuan, R.; Biswas, S.K.; French, L.J.; Raychaudhuri, D.: "A signaling and control architecture for mobility support in wireless ATM networks", *MONET – Mobile Networks and Applications Volume 1 (1996), no. 3*, pp. 287-298.
- [261] Zander, J.: "Radio Resource Management in Future Wireless Networks: Requirements and Limitations", *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no.8, August 1997, pp. 30-36.
- [262] Zhu, W.: "A hybrid handover scheme for integrated networks", *Computer Communications, COMCOM2128*, 2002.
- [263] Zhu, W.; Indulska, J.: "Fast Handover in Clustered Wireless ATM", *Proceedings of the 24<sup>th</sup> Australasian conference on Computer science*, Gold Coast, Queensland, 2001
- [264] Zonoozi, M. M.; Dassanayake, P.: "User Mobility Modeling and Characterization of Mobility Patterns", *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, vol. 15, no. 7, September 1997, pp. 1239-1252.
- [265] Zorzi, M.; Rao, R. R.: "On the impact of burst errors on Wireless ATM", *IEEE Personal Communications Magazine*, vol. 6, no. 4, August 1999, pp. 65-76.